

เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด  
Coffee Fruit Color Sorter

จักราพงศ์    งามโรจนวณิชย์  
ฐิติวรดา    อันสุวรรณ  
ณัฐนันท์    กลิ่นหอม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด  
Coffee Fruit Color Sorter

จักราพงศ์	งามโรจนวณิชย์
ฐิติวรดา	อันสุวรรณ
ณัฐนันท์	กลิ่นหอม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

# Coffee Fruit Color Sorter

Jakrapong	Ngamrojanavanit
Thitiworada	Onsuwan
Natthanan	Klinhom

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด  
Coffee Fruit Color Sorter

นักศึกษาผู้จัดทำ นายจักรพงษ์ งามโรจนวิชัย รหัสนักศึกษา 57010164  
นางสาวจิตติวรดา อันสุวรรณ รหัสนักศึกษา 57010356  
นางสาวณัฐนันท์ กลิ่นหอม รหัสนักศึกษา 57010429

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขา วิศวกรรมเกษตร  
ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.นารัถระพี นาคะวิจนะ	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายจักราพงศ์ งามโรจนวิชัย	57010164
	นางสาวฐิติวรดา อันสุวรรณ	57010356
	นางสาวณัฐนันท์ กลิ่นหอม	57010429
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.นารัตระพี นาคะวัจนะ	
ปีการศึกษา	2560	

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกสีผลกาแฟสด โดยใช้ความรู้ทางวิศวกรรมผสมผสานกับความรู้ทางด้านเทคโนโลยี เพื่อนำมาช่วยเกษตรกรในการคัดแยกผลกาแฟสดก่อนส่งขาย โดยเครื่องประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ คือ ถังบ่อน วงล้อลำเลียง ระบบคัดแยกสีผลกาแฟสด และโครงสร้างตัวเครื่อง

เครื่องคัดแยกสีกาแฟสดมีหลักการทำงานโดยอาศัยอุปกรณ์ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ ส่งกำลังผ่านเพลลาเพื่อหมุนวงล้อที่ใช้ในการลำเลียง โดยมีอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับความเร็วในการคัดแยกได้ สำหรับระบบการคัดแยกสีได้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และ RGB Color Sensor ในการคัดแยกสีของผลกาแฟสด เมื่อตรวจเจอสีที่ไม่ต้องการเซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ให้ส่งวาล์วควบคุมทิศทางการทำงาน เพื่อเป่าลมให้ผลกาแฟนั้นไปยังถังบรรจุผลกาแฟสีที่ไม่ต้องการ ส่วนผลกาแฟสดที่ตรวจพบว่าเป็นสีที่ต้องการจะถูกปล่อยให้เคลื่อนที่ตกลงยังถังบรรจุสีที่ต้องการ

การทดสอบการทำงานของเครื่อง ใช้ความเร็วรอบของวงล้อลำเลียงที่ 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 rpm พบว่า มีความถูกต้องของการคัดแยกเท่ากับ 99.6, 98.8, 93.6, 93.2, 90.0, 88.8 และ 86.0% และความสามารถในการคัดแยกเท่ากับ 3.50, 4.38, 5.25, 6.93, 7.00, 7.98 และ 8.76 kg hr<sup>-1</sup> ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็วรอบของวงล้อลำเลียงเท่ากับ 5 rpm มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความถูกต้องและความสามารถในการคัดแยกสูง

Thesis Title	Coffee Fruit Color Sorter	
Authors	Jakrapong Ngamrojjanavanit	57010164
	Thitiworada Onsuwan	57010356
	Natthanan Klinhorn	57010429
Thesis Advisor	Dr. Natrapee Nakawajana	
Year	2017	

### Abstract

This thesis aims to design and construct a prototype of coffee fruit color sorter. Using engineering knowledge combined with technological knowledge to help farmer in coffee fruit separation process. The machine consist of 4 important parts include feeder box, slot conveyor, color sorting system and machine.

The fresh coffee color sorter was using a 12-volt motor to drives through the shaft to rotate the wheel for conveying. The speed of the motor was adjusted to the speed of the motor. using Arduino Micro Board and Color sensor for color separation of fresh coffee. When detecting unwanted colors, the sensor sent signals to the Arduino. Order air flow control valve to shoot the coffee to the second bucket. The fresh coffee that was detected as the desired color was left to move to the first bucket

Testing machine by using slot conveyor speed at 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 rpm. The accuracy of the separation was 99.6, 98.8, 93.6, 93.2, 90.0, 88.8 and 86.0%. The sorting capacity was 3.50, 4.38, 5.25, 6.93, 7.00, 7.98 and 8.76 kg hr<sup>-1</sup> in order. The results of the test, the conveyor belt speed at 5 rpm was the most appropriate based on accuracy and capacity.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ “เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด” ได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่อง จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ดร.นารณะพี นาคะวิจนะ ขอขอบพระคุณที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้ข้อเสนอแนะและคำปรึกษา รวมทั้งยังช่วยตรวจสอบแก้ไขปริญญาานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ของสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ให้ความรู้ อบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา แนะนำ และแสดงความคิดเห็นในการจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุดนั้น ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำที่ให้กำเนิด อบรมสั่งสอนและคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ดิฉันแนะนำ จนทำให้โครงการปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

### คณะผู้จัดทำ

นายนายจักราพงศ์	งามโรจนวิชัย
นางสาวจิตติวรดา	อันสุวรรณ
นางสาวณัฐนันท์	กลั่นหอม

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูปภาพ .....	ช
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ทฤษฎี ความรู้ที่เกี่ยวกับกาแฟ .....	4
2.2 ทฤษฎี ความรู้ที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ภายในวงจร .....	10
2.3 ทฤษฎี ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์ .....	13
2.4 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล .....	21
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุ .....	33
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องคัดแยกสี .....	34
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง .....	38
3.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง .....	39
3.2 การออกแบบเครื่อง .....	40
3.3 การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ .....	41
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่อง .....	42

3.5 ทดสอบการทำงานของเครื่อง .....	45
3.6 สรุปผลการทดสอบ .....	47
3.7 นำเสนอผลงาน.....	47
<b>บทที่ 48 การทดสอบและผลการทดสอบ .....</b>	<b>48</b>
4.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ .....	48
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ .....	48
4.3 วิธีการทดสอบ .....	48
4.4 ผลการทดสอบ.....	49
4.5 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด .....	53
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>54</b>
5.1 สรุปผลการทดสอบ .....	54
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข.....	54
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>56</b>
<b>ภาคผนวก .....</b>	<b>58</b>
ภาคผนวก ก .....	59
ภาคผนวก ข .....	60
ภาคผนวก ค .....	62

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ว่าแล้ว.....	20
ตารางที่ 2 แสดงขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R 755-1969.....	31
ตารางที่ 3 ค่าตัวประกอบความถี่.....	32
ตารางที่ 4 ผลทดลองเพื่อหาค่าความถูกต้องในการคัดแยกสี.....	47
ตารางที่ 5 ผลทดลองสมรรถนะของเครื่องคัดแยกผลกาแฟสด.....	46
ตารางที่ 6 ค่าผลการทดสอบความถูกต้องในการคัดแยกสีผลกาแฟสด.....	50
ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าความสามารถในการคัดแยกสีผลกาแฟสด.....	52

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 โครงสร้างของต้นกาแฟและระบบราก..... 5

รูปที่ 2 โครงสร้างชนิดของตาที่จะผลิตกิ่งตั่งและกิ่งนอน..... 6

รูปที่ 3 ดอกกาแฟ..... 7

รูปที่ 4 ผลกาแฟสด ..... 7

รูปที่ 5 กาแฟกะลา..... 8

รูปที่ 6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ..... 11

รูปที่ 7 Optocouplers ..... 12

รูปที่ 8 Sensor Color Light-To-Digital ..... 13

รูปที่ 9 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานในระบบนิวแมติกส์ทั่วไป..... 14

รูปที่ 10 แสดงสัญลักษณ์ของระบบนิวแมติกส์..... 14

รูปที่ 11 ตัววาล์วมี 2 ตำแหน่งและมี 3 รู ..... 16

รูปที่ 12 การอ่านสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง ..... 16

รูปที่ 13 การเคลื่อนที่ของวาล์ว ..... 16

รูปที่ 14 ตำแหน่งภาวะปกติเปิดหรือภาวะปกติปิดของวาล์วได้จากขวามือ ..... 17

รูปที่ 15 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้มือหรือเท้า (Manual Actuator)..... 17

รูปที่ 16 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ระบบกลไก (Mechanical Actuator)..... 18

รูปที่ 17 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ลม (Pneumatic Actuator)..... 18

รูปที่ 18 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ไฟฟ้า (Electrical Actuator) ใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ขด..... 19

รูปที่ 19 การเคลื่อนลิ้นแบบผสม (Combined Actuation) ..... 19

รูปที่ 20 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ..... 22

รูปที่ 21 สนามแม่เหล็กหมุนวนที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส (กรณีของ 2 ขั้ว)..... 22

รูปที่ 22 หลักการทำงานของมอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับ ..... 23

รูปที่ 23 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง ..... 24

รูปที่ 24 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง ..... 25

รูปที่ 25 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่แปร่งสัมผัส ..... 25

รูปที่ 26 หลักการทำงานของสเตปมิงมอเตอร์ ..... 26

รูปที่ 27 ตัวอย่างของระบบที่ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน ..... 28

รูปที่ 28 แสดงเพลายู่ภายใต้แรงต่าง ๆ.....	32
รูปที่ 29 เครื่องตัดแยกวัถุด้วยสี้อตโนมิติตามสายพานลำเลียง.....	34
รูปที่ 30 การไหลของการผลิตข้าวสาลีพันธุ์ Bulgur.....	35
รูปที่ 31 หลักการทำงานภายในเครื่องคัดแยกแสงและสี Satake.....	36
รูปที่ 32 หลักการทำงานภายในเครื่องคัดแยกข้าว.....	37
รูปที่ 33 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการสร้างเครื่อง.....	38
รูปที่ 34 เครื่องต้นแบบคัดแยกสีผลกาแฟสด.....	40
รูปที่ 35 หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด.....	41
รูปที่ 36 ถังป้อนผลกาแฟสด.....	43
รูปที่ 37 วงล้อลำเลียงผลกาแฟสด.....	44
รูปที่ 38 โครงสร้างเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด.....	44
รูปที่ 39 กล่องบรรจุวงจรรีเล็กทรอนิกส์.....	45
รูปที่ 40 แผนภูมิแสดงค่าความถี่ต้องการในการคัดแยกสีผลกาแฟส.....	52
รูปที่ 41 แผนภูมิแสดงความสามารถในการคัดแยกของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด.....	52

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกและผลิตกาแฟเป็นปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องด้วยประเทศไทยมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกกาแฟ ซึ่งสอดคล้องกันกับอัตราการบริโภคกาแฟภายในประเทศมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แหล่งผลิตกาแฟที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ทางภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศ สำหรับพันธุ์กาแฟที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีสองพันธุ์ด้วยกัน คือ พันธุ์อาราบิก้าและพันธุ์โรบัสต้า โดยกาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีการปลูกในจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ น่าน แม่ฮ่องสอน และลำปาง ส่วนพันธุ์โรบัสต้ามีการปลูกกันมากในจังหวัดชุมพร และระนอง (สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร, 2559) ผลผลิตที่ได้คือ ผลกาแฟสด หรือบางครั้งเรียกว่าผลกาแฟเชอรี่ เกษตรกรจะส่งขายให้กับโรงงานเพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็น สารกาแฟ กาแฟดิब्กาแฟคั่ว หรือกาแฟสำเร็จรูป ต่อไป

ระยะเก็บเกี่ยวผลกาแฟสดที่เหมาะสมคือ ควรเก็บเกี่ยวผลกาแฟสดที่มีความสุกแก่เหมาะสม โดยเก็บเกี่ยวผลกาแฟสดที่มีสีแดงไม่น้อยกว่า 90% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ไม่ควรเก็บผลอ่อนที่มีสีเขียวทั้งหมด ผลร่วง หรือผลกาแฟที่สุกเกินไป และผลกาแฟที่เก็บเกี่ยวได้ ไม่ควรมีผลกาแฟที่สุกแก่ไม่เหมาะสมเกิน 5% ของผลกาแฟที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2553) ซึ่งในทางปฏิบัติ เกษตรกรควรเก็บเกี่ยวเฉพาะผลกาแฟสดที่สุกแดงเท่านั้น ชาวสวนกาแฟหรือคองงานรับจ้างเก็บกาแฟบางรายมักจะละเลยในเรื่องนี้ เพราะต้องการเก็บกาแฟให้ได้มากที่สุดในแต่ละครั้ง โดยจะรูดผลกาแฟมาทีเดียวไม่ได้มีการคัดเลือกที่ดีพอ ซึ่งมักจะปะปนไปด้วยผลกาแฟสดที่มีสีเขียวอยู่เป็นจำนวนมาก กล่าวคือหากเกษตรกรเก็บผลกาแฟสดขณะที่ยังมีสีเขียวหรือยังอ่อนอยู่ จะเกิดกลิ่นเขียว และเปอร์เซ็นต์กาแฟสารเมล็ดดำจะสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ได้กาแฟสารที่มีคุณภาพต่ำ

เกษตรกรบางรายส่งขายโดยไม่มีการคัดแยกสีผลกาแฟสดก่อน บางรายคัดแยกสีก่อนโดยทำการคัดแยกสีผลกาแฟสดสีอื่นที่ไม่ใช่สีแดงออกด้วยตาเปล่า (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2553) ซึ่งต้องใช้เวลาและแรงงานในการคัดแยก ซึ่งในการซื้อขายผลกาแฟสดที่มีการคัดแยกสีมาแล้ว โดยเอาเฉพาะผลกาแฟสดสีแดง ทางผู้ประกอบการหรือโรงงานจะให้ราคาซื้อขายอยู่ที่ประมาณกิโลกรัมละ 15 – 25 บาท แต่หากทางผู้ประกอบการสุ่มตรวจพบว่าภายในกระสอบมีการปนของผลกาแฟสดสีอื่นที่สุกแก่ไม่เหมาะสมมาเพื่อให้ได้น้ำหนัก

ซื้อขายที่มาก เกษตรกรก็จะถูกหักราคาซื้อขายลงไปหรือไม่รับซื้อเลยหากมีปริมาณการปนที่มากเกินไปเกินกว่ากำหนด จะเห็นว่าปัญหาดังกล่าวส่งผลต่อทั้งเกษตรกรและผู้ประกอบ

จึงเป็นที่มาของแนวความคิดของการทำโครงการนี้ที่คณะผู้จัดทำ ได้มีแนวคิดที่จะสร้างและออกแบบ เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสดขนาดเล็กและมีราคาถูก โดยใช้ความรู้ทางวิศวกรรมผสมผสานกับความรู้ทางด้าน เทคโนโลยี เพื่อนำมาช่วยเหลือเกษตรกรในการคัดแยกผลกาแฟสดก่อนส่งขาย อันจะช่วยลดระยะเวลาและ แรงงานคนในการคัดแยก อีกทั้งได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอเพื่อส่งขายโรงงาน รวมไปถึงการช่วยให้เกิดราคา ซื้อขายที่เป็นธรรมทั้งกับทางเกษตรกรและผู้ประกอบการด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด
- 1.2.2 เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้า จากไร่ในพื้นที่จังหวัดชุมพรและ ระนอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 - 16 มิลลิเมตร โดยจะคัดผลกาแฟสดสีอื่นออก เหลือไว้เพียงผลกาแฟสดสี แดง

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูล หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกาแฟ โดยจะเน้นกระบวนการช่วงเก็บเกี่ยวของ เกษตรกร
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการคัดแยกสีผลกาแฟสดของเกษตรกรและการรับซื้อผลกาแฟสดของ ผู้ประกอบการ
- 1.4.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกสีกาแฟสด
- 1.4.4 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องต้นแบบคัดแยกสีผลกาแฟสด
- 1.4.5 ออกแบบและเขียนแบบภาพชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบคัดแยกสีผลกาแฟสด

- 1.4.6 จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ภายในวงจรของเครื่องต้นแบบคัตแยกสีผลกาแฟสด
- 1.4.7 ประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และเก็บค่าสีอ้างอิงของผลกาแฟสดเพื่อใช้ในการคัตแยกสี
- 1.4.8 สร้างเครื่องต้นแบบคัตแยกสีผลกาแฟสดตามแบบภาพชิ้นส่วนที่ออกแบบ
- 1.4.9 ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบคัตแยกสีผลกาแฟสด โดยการนำผลกาแฟสดคละสีแดงและไม่ใช่สีแดงใส่ลงในเครื่อง เพื่อทดสอบว่าสามารถแยกได้ 100% หรือไม่
- 1.4.10 บันทึกผลการทดลองตามตารางที่ 5 และตารางที่ 6
- 1.4.11 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพและความแม่นยำของเครื่องต้นแบบคัตแยกสีผลกาแฟสด

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เครื่องต้นแบบในการคัตแยกสีผลกาแฟสดที่สามารถทำการคัตแยกได้อย่างถูกต้อง
- 1.5.2 สามารถสร้างเครื่องมือที่ช่วยในการทำงานของเกษตรกรรายย่อย เพื่อใช้ในกระบวนการคัตแยกสีผลกาแฟสด
- 1.5.3 สามารถเพิ่มมูลค่าของผลกาแฟสดจากการคัตแยกสีผลกาแฟสดก่อนส่งขายให้ผู้ประกอบการ
- 1.5.4 ได้ข้อมูลพื้นฐานการทำเครื่องคัตแยกสีผลกาแฟสด ที่จะสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่มากขึ้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎี ความรู้ที่เกี่ยวกับกาแฟ

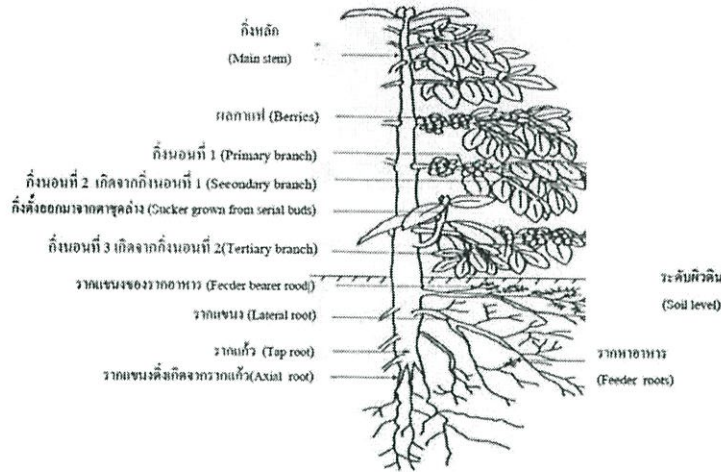
##### 2.1.1 กาแฟ

กาแฟ (*Coffea spp.*) เป็นไม้ยืนต้นที่มีใบเขียวชอุ่มตลอดทั้งปี มีลักษณะเป็นพุ่มขนาดเล็ก ให้ผลซึ่งมีสรรพคุณในการกระตุ้นประสาท ซึ่งมีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในทวีปแอฟริกา กาแฟอาราบิก้าเป็นพืชพื้นเมืองแถบพื้นที่สูงในประเทศเอธิโอเปียและที่ราบสูงโบมา ในประเทศชูดาน ลักษณะเป็นป่ากาแฟธรรมชาติ สภาพอากาศค่อนข้างหนาวเย็น ดินเป็นดินร่วนสีแดง หน้าดินค่อนข้างลึก ส่วนกาแฟโรบัสต้าเป็นกาแฟพื้นเมืองแถบเส้นศูนย์สูตรของทวีปแอฟริกา ระดับความสูงตั้งแต่ระดับน้ำไปจนถึงความสูง 1,050 เมตรจากระดับน้ำทะเล (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557)

##### 2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ

###### (1) ลำต้น

ลำต้นของกาแฟมีข้อและปล้องซึ่งเป็นลำต้นหลักติดต่อกันไปถึงรากแก้วใบที่อยู่ตามข้อของลำต้น ในขณะที่ต้นเล็กจะเห็นได้ชัด เมื่อต้นโตใบจะร่วงหล่นไป ที่โคนก้านใบจะมีตาอยู่ 2 ชนิด คือ ตาบน และตาล่าง โดยปกติตาบนจะแตกออกเป็นกิ่งนอนที่ 1 (Primary Branch) จากลำต้นซึ่งเป็นกิ่งที่จะติดดอกออกผลเมื่อถึงเวลาอันสมควร ส่วนตาล่างจะพักตัวอยู่จนกระทั่งเมื่อเวลาอันสมควรจะแตกเป็นหน่อ เพื่อเป็นต้นที่สามารถแตกกิ่งนอนที่ 1 ได้แต่ต้องคอยปลิดทิ้ง เมื่อยังไม่ถึงเวลาที่ปล่อยให้แตกเป็นต้นใหม่ (สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560)



รูปที่ 1 โครงสร้างของต้นกาแฟและระบบราก

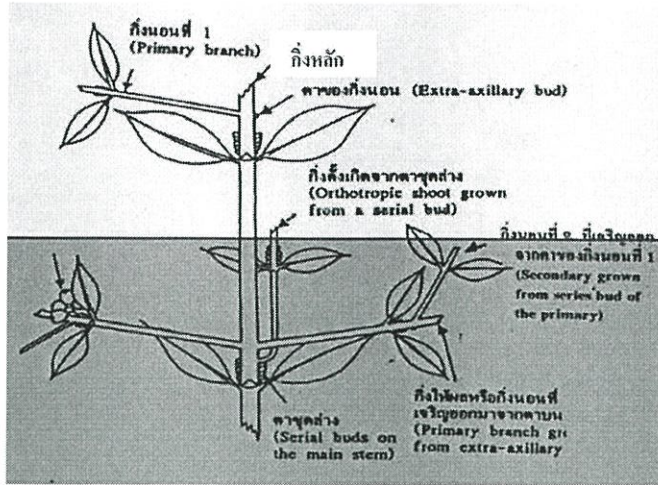
ที่มา : สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2560)

## (2) ราก

รากแก้วของกาแฟค่อนข้างใหญ่ ความยาวจะขึ้นอยู่กับสภาพดินที่ปลูก แต่ส่วนใหญ่จะไม่เกิน 45 เซนติเมตร รากแขนงที่แตกออกมาจากรากแก้วมีจำนวนตั้งแต่ 4 – 8 ราก หยั่งลึกลงไปในดิน 2 – 3 เมตร รากแขนงที่หยั่งลึกลงไปในดินนี้ อาจมีรากฝอยแตกออกมาอีก แผ่ขยายออกมาในดินที่ลึกลงไป จากรากฝอยจะมีรากแตกออกมาอีก แผ่ขยายขนานกับผิวดินโดยอยู่ใต้พื้นดิน รากเหล่านี้เรียกว่า รากหาอาหาร (Feeding roots) รากหาอาหารจะอยู่ระดับผิวดิน หรือต่ำกว่าระดับผิวดินประมาณ 2.5 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการคลุมดินที่ดีจะเห็นรากหาอาหารสีขาวงอกออกมาจากผิวดินมากมายอยู่ระหว่างอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายแล้ว (สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560)

## (3) กิ่ง

กิ่งที่แตกออกมาจากลำต้นที่เรียกว่ากิ่งนอนที่ 1 นั้น จะติดผลตามข้อ โดยข้อที่ให้ผลแล้วจะไม่ให้ผลซ้ำในข้อนั้น ถ้าต้นกาแฟสมบูรณ์ดีกิ่งนอนที่ 1 จะให้ผลปีละ 6 -10 ข้อ โดยเริ่มจากโคนกิ่งไปจนถึงปลายกิ่ง อาจใช้เวลา 2 – 3 ปี ก็แตกออกเป็นกิ่งนอนที่ 3 ออกดอกติดผลต่อไป แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบตัดแต่งกิ่งด้วย



รูปที่ 2 โครงสร้างชนิดของตาที่จะผลิตกิ่งตั้งและกิ่งนอน

ที่มา : สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2560)

(4) ใบ

ใบ เกิดที่ข้อเรียงตัวแบบตรงกันข้าม ลักษณะใบเป็นใบเดี่ยว มีแผ่นใบอันเดียวเป็นรูปไข่ หรือรูปโล่ (Rhomboidal หรือ Rhomboid) ฐานใบแหลมและสั้น ตรงกลางใบกว้าง โคนใบและปลายใบเรียวแหลม (Aristate) ขอบใบเรียบเป็นคลื่นสีเขียวเข้มเป็นมันเงา ผิวด้านบนสีเขียวเข้มด้านใต้ใบสีเขียวอ่อน ขนาดของใบขึ้นอยู่กับพันธุ์ของกาแฟ เส้นกลางใบชัดและมีเส้นแขนง (Dormatia) เป็นแบบขนาน (Parallel) โดยเรียงคู่ขนานกันตลอดทั้งความยาวของใบ เส้นแขนงบนใบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ซึ่งมีประมาณ 7 – 12 คู่ ขณะที่ใบแก่มีสีเขียวแก่ แต่ยอดอ่อนจะมีสีเขียว (สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560)

(5) ดอก

ดอก กลีบดอกจะมีสีขาวหรือครีม มีกลิ่นหอมคล้ายมะลิป่า เป็นดอกสมบูรณ์เพศที่มีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ปกติดอกของกาแฟเมื่อเกิดมาแล้วจะยังคงพักตัวอยู่ ซึ่งจะเป็นช่วงฤดูแล้งและกาแฟจะขาดน้ำอย่างรุนแรง แต่เมื่อได้รับน้ำหรือน้ำฝนตอนต้นฤดู การพัฒนาของดอกก็จะเริ่มขึ้นทันที ก้านดอกจะยืดยาว กลีบดอกจะขยายและบานพร้อมกัน ดอกกาแฟจะใช้เวลาในการบานต่อเนื่องกัน 8 – 12 วัน และดอกจะบานอยู่ประมาณ 2 วัน จึงเหี่ยว กลีบดอกและส่วนอื่น ๆ จะร่วง คงเหลือแต่รังไข่จะกลายเป็นผล ปกติใน 1 ผล จะมีเมล็ดอยู่ 2 เมล็ด ลักษณะของดอกกาแฟดังกล่าวเรียกว่า ดอกดาว (Star flower) (สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560)

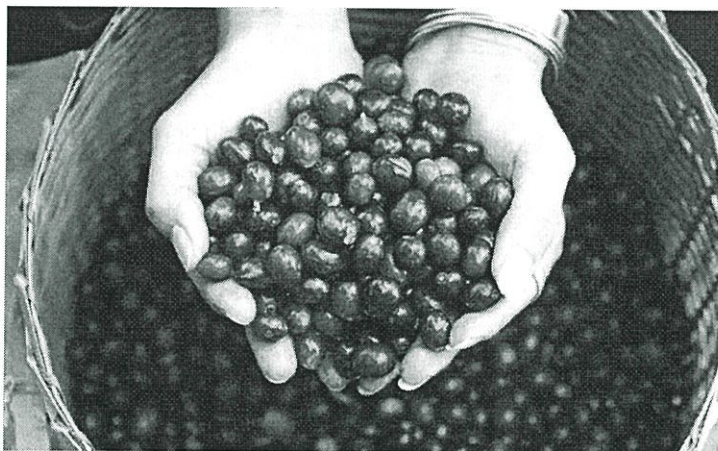


รูปที่ 3 ดอกกาแพ

ที่มา : สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2560)

#### (6) ผล

ผลมีลักษณะกลมรี ขนาดความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร ก้านผลสั้น ผลดิบ มีสีเขียว ผลสุกมีสีเหลือง ส้ม แดง หรือแดงเกือบดำขึ้นอยู่กับพันธุ์ของกาแพ ผลกาแพแบ่งออก ได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) เปลือกผล (skin) (2) เนื้อ (pulp) มีสีเหลืองอ่อน เมื่อสุกมีรสหวาน เล็กน้อย (3) เปลือกเมล็ด หรือกะลา (parchment) เป็นส่วนที่หุ้มเมล็ดไว้ โดยจะมีเมือก (mucilage) ห่อหุ้มผิวกะลา บนผิวนอกระหว่างเมล็ดกับกะลา จะมีเยื่อบางๆ หุ้มเมล็ดอยู่ เรียกว่า เยื่อหุ้มเมล็ด (silver skin) โดยปกติผลจะใช้เวลาเจริญเติบโตจนถึงระยะผลสุกเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ 6 – 11 เดือน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อุณหภูมิ และแหล่งปลูก ผลกาแพบนต้นจะสุกไม่พร้อมกัน เนื่องจากตาดอกของแต่ละซ้อแทงช่อดอกไม่พร้อมกัน และในแต่ละช่อดอกก็บานไม่พร้อมกัน (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557)

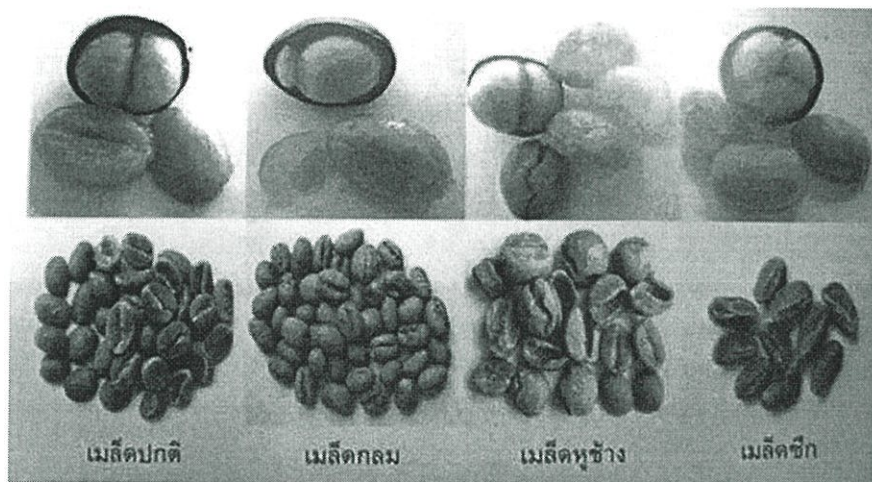


รูปที่ 4 ผลกาแพสด

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2557)

### (7) เมล็ด

เมล็ด มีลักษณะด้านหนึ่งโค้งด้านหนึ่งเรียบและมีร่องตรงกลาง ด้านเรียบของทั้งสองเมล็ดจะหันหน้าเข้าหากันและประกบกัน เมล็ดรูปไข่ยาวหรือกลมรี มีเยื่อบาง ๆ (testa) สีเงินห่อหุ้มอยู่และภายในเปลือกใส ๆ ที่เรียกว่า “กะลา” (parchment) เมล็ดที่มีเปลือกหุ้มอยู่เรียกว่า กาแฟกะลา (parchment coffee) และรอบ ๆ เปลือกหุ้มหรือกะลามะลัดนี้ จะมีเมือกใส ๆ และเหนียว (mucilage) เคลือบอยู่ เมื่อกะเทาะส่วนกะลานั้นออกจะเหลือส่วนเมล็ดที่เรียกว่า สารกาแฟ (Coffee bean) ซึ่งเมื่อยังสดอยู่มีสีขาว แต่เมื่อแห้งมีสีเขียวอมเทาจึงมักเรียกว่า เมล็ดกาแฟ (green coffee) ซึ่งก็คือ เอนโดสเปิร์ม (endosperm) โดยมีคัพภะเล็ก ๆ (embryo) ติดใกล้ฐานของเมล็ดเมื่อเก็บรักษาไว้นาน ๆ จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและสีดำในที่สุด บางครั้งการผสมเกสรไม่สมบูรณ์ ผลกาแฟอาจมีเพียงเมล็ดเดียวแต่รูปร่างกลมรีทั้งเมล็ด มีร่อง 1 ร่อง เรียกว่า เมล็ดถั่ว (Pea bean) (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557)



รูปที่ 5 กาแฟกะลา

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2557)

#### 2.1.3 พันธุ์กาแฟที่มีความสำคัญในเชิงเศรษฐกิจของประเทศไทย

พันธุ์กาแฟที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และปลูกเป็นการค้าแพร่หลายทั่วโลก ในปัจจุบันมีเพียง 2 ชนิด (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557) ได้แก่ พันธุ์อาราบิก้า และพันธุ์โรบัสต้า

### (1) กาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.)

เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดในโลก มีปริมาณผลผลิตมากกว่า 80% ของผลผลิตกาแฟโลก ใบเขียวเป็นมัน ดอกผสมตัวเอง ระยะออกดอกถึงผลแก่ใช้เวลา 6-9 เดือน เมล็ดค่อนข้างใหญ่ รูปทรงค่อนข้างแบนยาวเกือบเป็นวงรี สีเขียวอมเทาฟ้า ให้ผลผลิตปานกลาง ลักษณะเด่น คือ มีกลิ่นหอมและรสชาตินุ่มละมุน เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ข้อดีคืออ่อนแอต่อโรค โดยเฉพาะโรคราสนิมไม่ทนทานต่อการแปรปรวนของสภาพแวดล้อม ทำให้การดูแลรักษาทำได้ยากกว่าพันธุ์อื่นๆ จุดเด่นของกาแฟอาราบิก้า คือ มีปริมาณคาเฟอีนน้อยประมาณ 1% ของน้ำหนัก มีกลิ่นหอม เหมาะสำหรับนำมาทำเป็นกาแฟร้อนทานแบบไม่ใส่นม

### (2) กาแฟโรบัสต้า (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner)

เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากเป็นอันดับสองรองจากอาราบิก้า ผลผลิตมีประมาณ 20 % ของผลผลิตโลก ลักษณะทรงพุ่มใหญ่กว่ากาแฟอาราบิก้า มีกิ่งก้านสาขามาก ข้อปล้องยาวใบใหญ่ สีเขียวเข้ม แต่ไม่เป็นมัน ดอกไม่สามารถผสมตัวเองได้ ต้องผสมข้ามต้นโดยอาศัยลม และแมลงช่วยผสมพันธุ์ ดอกกาแฟโรบัสต้าจึงมีกลิ่นที่หอมมาก ระยะเวลาตั้งแต่ดอกบานถึงผลแก่ประมาณ 9 – 11 เดือน เมล็ดเล็ก รูปทรงค่อนข้างกลมและนูน สีเขียวอมน้ำตาล ให้ผลผลิตสูง ทนทานต่อโรค และความแปรปรวนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี จุดเด่นของกาแฟโรบัสต้า คือ ให้ปริมาณเนื้อกาแฟมารสชาติเข้มข้น ส่วนข้อดีคือ ให้กลิ่นหอมน้อยกว่า จึงเหมาะนำมาผสมกับกาแฟอาราบิก้า หรือที่เรียกว่า การเบลนด์กาแฟทำกาแฟเย็น หรือกาแฟใส่นม เนื่องจากรสขม และความหวานไม่กลบรสกาแฟจนหมด นอกจากนี้ยังนิยมนำมาทำกาแฟผงหรือกาแฟสำเร็จรูปด้วย มีปริมาณคาเฟอีนประมาณ 2 % ของน้ำหนัก (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557)

## 2.1.4 การเก็บเกี่ยวกาแฟ

### (1) ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม

โดยปกติกาแฟจะให้ผลผลิตหลังปลูกประมาณ 3 ปี ในประเทศไทยผลกาแฟจะสุกประมาณ เดือนตุลาคม – เมษายน ผลกาแฟจะทยอยสุกไม่พร้อมกันจึงควรแบ่งรอบการเก็บอย่างน้อย 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งห่างกันประมาณ 2 – 3 สัปดาห์ ควรเก็บเกี่ยวผลกาแฟที่มีความสุกแก่เหมาะสม โดยเก็บเกี่ยวผลกาแฟที่มีสีแดง หรือสีเหลือง หรือสีส้มแดง (ขึ้นกับพันธุ์) ไม่น้อยกว่า 90% ของพื้นที่ผิว ทั้งผล ไม่ควรเก็บผลอ่อนที่มีสีเขียว ผลร่วง หรือผลที่สุกเกินไป และเมื่อเก็บผลกาแฟมาแล้วไม่ควรทิ้งไว้เกิน 24 ชั่วโมง ยกเว้นการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย ให้เก็บผล

กาแฟสุกที่เหลืองและผลตกค้างทั้งหมด ซึ่งจะมีทั้งผลสุก ผลอ่อน และผลด่าปะปนกันมา แล้วคัดเฉพาะผลสุกแยกไปแปรรูปต่างหาก เพื่อให้ได้สารกาแฟที่มีคุณภาพ แต่ถ้านำมาแปรรูปรวมกัน แนะนำให้แปรรูป เป็นสารกาแฟด้วยกระบวนการแบบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำแล้วเก็บรักษา และบรรจุแยกจากการเก็บเกี่ยวครั้งอื่น ๆ

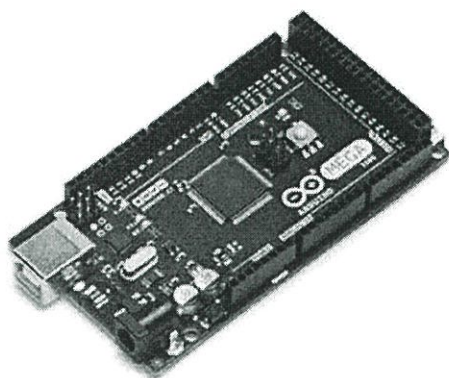
## (2) วิธีการเก็บเกี่ยว

1. วางแผนการเก็บเกี่ยว โดยพิจารณากำลังความสามารถในการผลิตเมล็ดกาแฟด้วย เนื่องจาก การผลิตเมล็ดกาแฟควรทำในวันที่เก็บเกี่ยว ทันทีผลกาแฟที่เก็บเกี่ยวในรอบการเก็บเกี่ยว หรือแปลงที่ต่างกันถือเป็นคนละรุ่นการปฏิบัติ หลังการเก็บเกี่ยวต้องแยกจากกัน
2. กำจัดวัชพืช กิ่งไม้ และผลกาแฟที่ร่วงใต้ต้น ก่อนเก็บเกี่ยว
3. ควรหาวัสดุที่เหมาะสม เช่น ผ้าใบ ไม้ไผ่ต้นกาแฟ เพื่อป้องกันผลกาแฟที่เก็บเกี่ยวใหม่ ปนเปื้อนกับผลกาแฟสุกเก่าที่หล่นใต้ต้น
4. ใช้มือปลิดผลกาแฟที่สุกแก่เหมาะสมใส่ภาชนะ เช่น ถุงตาข่ายไนล่อน หรือกระสอบป่าน ที่สะอาด และเก็บผลกาแฟสุกที่ร่วงลงบนสิ่งปูรอง
5. ไม่ควรเก็บผลกาแฟสุกที่ร่วงบนพื้นดินเกิน 1 วัน เนื่องจากผลกาแฟอาจปนเปื้อนเชื้อรา
6. นำผลกาแฟไปคัดเลือก และเข้าสู่กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟโดยเร็วหรืออย่างช้าไม่เกิน 24 ชั่วโมง เนื่องจากจะเกิดการหมักซึ่งส่งผลให้เมล็ดกาแฟเสื่อมคุณภาพ

## 2.2 ทฤษฎี ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ภายในวงจร

### 2.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open Source ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน



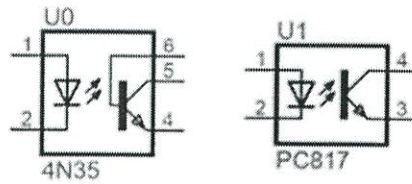
รูปที่ 6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

ที่มา : เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น (2560)

### 2.2.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optocouplers)

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง หรือที่เรียกว่า “ออปโตคัปเปิลเลอร์” (OptoCoupler) หรือบางทีก็เรียกว่า อุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง (Opto-Isolator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเชื่อมต่อทางแสง โดยการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแสงแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม นิยมใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจร และต้องการแยกกันทางไฟฟ้าโดยเด็ดขาด เพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้าระหว่างสองวงจร ภายในของอุปกรณ์ประเภทนี้ ประกอบด้วยไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งแสง (Optical Transmitter) เช่น แสงอินฟราเรด (Infrared) และตัวรับแสง (Optical Receiver) ซึ่งมักนิยมใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นตัวรับโดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวถังเดียวกัน

โฟโตทรานซิสเตอร์ ทำงานได้ในลักษณะเดียวกับทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN แต่ไม่มีขาเบส (B) และถูกแทนที่ด้วยส่วนรับแสง เมื่อได้รับแสงหรืออนุภาคของแสง หรือที่เรียกว่า โฟตอน (Photons) ในปริมาณมากพอ จะทำให้เกิดอนุภาคอิสระที่มีประจุในบริเวณรอยต่อระหว่างเบสและคอลเลคเตอร์ (Base-Collector Region) และให้ผลเหมือนมีกระแสไหลเข้าที่ขาเบสรูปที่ แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง แบบ 4 ขา (เบอร์ PC817) และ 6 ขา (เบอร์ 4N35)



รูปที่ 7 Optocouplers

ที่มา : Brushless servo control (2556)

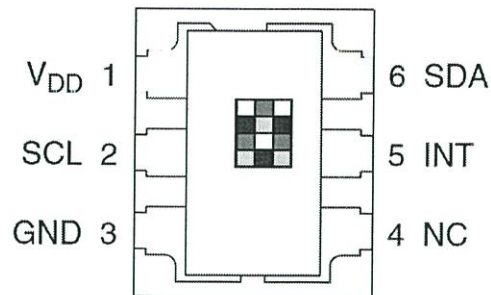
อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงสามารถรับสัญญาณอินพุต (ดิจิทัล) เช่น จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ เปิด-ปิด ไดโอดเปล่งแสงที่อยู่ภายในตัวอุปกรณ์ (ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง) และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วยแสง ดังนั้นจึงนำไปใช้ในลักษณะเป็นอุปกรณ์สวิตช์เปิด-ปิด หรือนำไปต่อกับวงจรถานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อให้สามารถขับกระแสได้ในปริมาณที่สูงขึ้น

เมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในระดับที่สูงกว่าแรงดันไบอัสตรงของไดโอดเปล่งแสง (VF) จะทำให้เกิดกระแสไหลหรือที่เรียกว่า กระแสอินพุต หรือ กระแสไบอัสตรง (IF) ทำให้ไดโอดเปล่งแสงตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหล ในการต่อวงจรจะต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่ด้วย เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลไม่ให้สูงเกิน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วควรจะให้อยู่ในช่วง 5-50 มิลลิแอมป์ (mA) เมื่อโฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับแสงจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ระหว่างขา C และ E ซึ่งให้ผลเหมือนในกรณีที่จ่ายกระแส เข้าที่ขาเบส (B) ของทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN และถ้ามีแรงดันตกคร่อมที่ขา C และขา E ( $V_{CE} > 0\text{ V}$ ) ก็จะทำให้มีกระแสเอาต์พุตไหล

### 2.2.3 Sensor COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER with IR FILTER

อุปกรณ์ TCS3472 ให้การตอบสนองแบบดิจิทัลของสีแดงสีเขียวสีฟ้า (RGB) และค่าแสงที่ชัดเจนและ มีการปิดกั้นตัวกรองคลื่นอินฟราเรดบนชิปและการแปลเป็นสีให้กับโฟโตไดโอดตรวจจับสีช่วยลดสเปกตรัมของอินฟราเรด ส่วนประกอบของแสงที่เข้ามาและช่วยให้การวัดสีทำได้ถูกต้อง ความไวสูง,เป็นช่วงกว้าง และ การป้องกันคลื่นอินฟราเรด ทำให้ TCS3472 เป็นอุปกรณ์การตรวจจับสีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายใต้สภาพแสงที่แตกต่างกันและผ่านวัสดุลดทอน

**PACKAGE FN  
DUAL FLAT NO-LEAD  
(TOP VIEW)**



Package Drawing Not to Scale

**รูปที่ 8 Sensor Color Light-To-Digital**

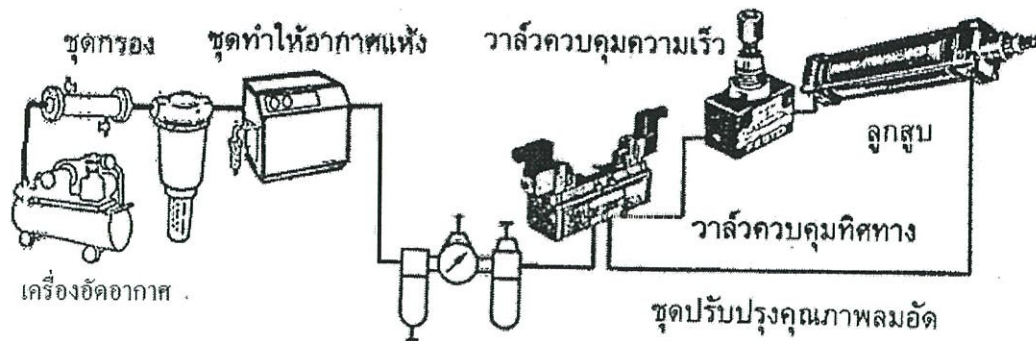
ที่มา : Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc. (2012)

เซ็นเซอร์สี TCS3472 มีแอปพลิเคชันหลากหลายรวมถึงการควบคุมไฟ LED RGB LED, สถานะ solidstate แสงผลิตภัณฑ์สุขภาพ / ออกกำลังกายการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมและอุปกรณ์การวินิจฉัยทางการแพทย์ นอกจากนี้แล้วตัวกรองแสงอินฟราเรด ช่วยให้ TCS3472 สามารถทำการตรวจจับแสงโดยรอบ โดยส่วนใหญ่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้จอแสดงผล เช่น โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊ก และทีวี เพื่อทำความเข้าใจสภาพแสงและเปิดใช้งานความสว่างของจอแสดงผลอัตโนมัติเพื่อการรับชมและการประหยัดพลังงานที่ดีที่สุด

## 2.3 ทฤษฎี ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์

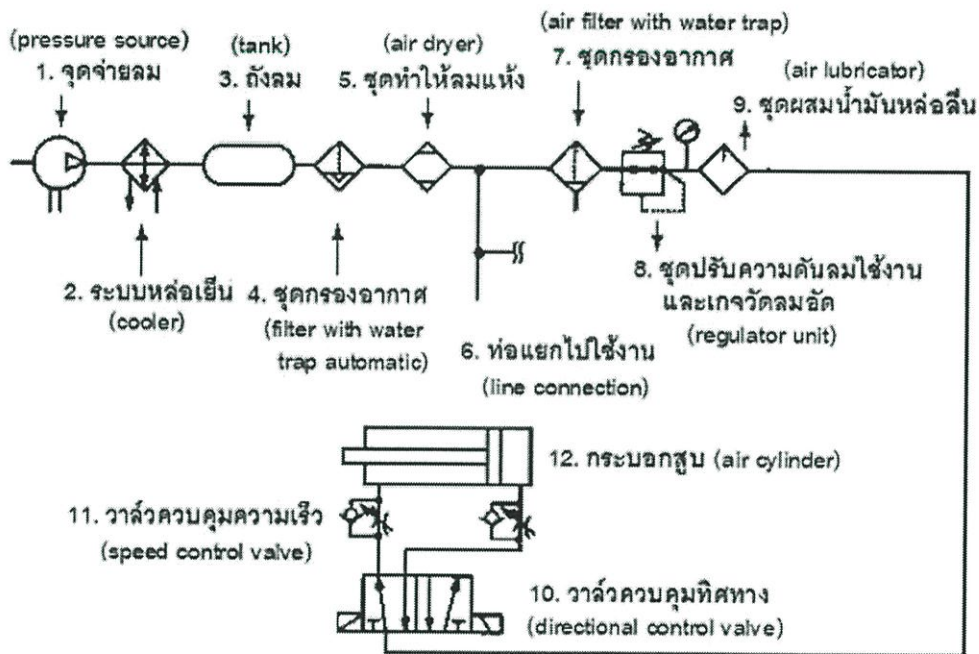
### 2.3.1 ระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน

ในปัจจุบันระบบนิวแมติกส์ได้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอย่างมาก เนื่องจากระบบที่ใช้อุปกรณ์นิวแมติกส์นั้นง่ายต่อการใช้งานและซ่อมบำรุง รวมทั้งมีราคาไม่แพง และยังสามารถนำมาใช้ในเครื่องจักรอัตโนมัติและเครื่องจักรกลทันสมัยมากมาย ระบบนิวแมติกส์มีองค์ประกอบในการใช้งานดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานในระบบนิวแมติกส์ทั่วไป

ที่มา : ระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน (2560)



รูปที่ 10 แสดงสัญลักษณ์ของระบบนิวแมติกส์

ที่มา : ระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน (2560)

1. จุดจ่ายลม หมายถึง ต้นกำเนิดลมหรือเครื่องอัดอากาศ ในการใช้งานต้องคำนึงถึงปริมาณลมอัดที่ต้องการใช้ที่พอเพียงต่อการใช้งานอย่างเหมาะสม
2. ระบบหล่อเย็น หรือเครื่องระบายความร้อน มักจะติดตั้งอยู่ถัดจากเครื่องอากาศ เพื่อให้ลมอัดมีอุณหภูมิลดลงและจำกัดไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงในลมอัด ถ้าไอน้ำเหล่านี้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในอุปกรณ์นิวแมติกส์จะ

เกิดการกัดกร่อนหรือความเสียหายได้ เครื่องระบายความร้อนแบ่งได้เป็นแบบใช้น้ำหล่อเย็นและแบบใช้ลมเป่าระบายความร้อน โดยอากาศที่ผ่านระบบหล่อเย็นแล้วควรอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส

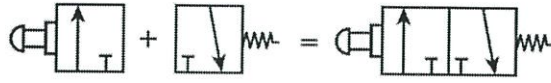
3. ถังลม ควรมียขนาดใหญ่เพียงพอจากลมอัดให้กับอุปกรณ์ทุกตัว เพื่อป้องกันการที่เครื่องอัดอากาศทำงานหนักมากเกินไป
4. ชุดกรองอากาศ หรือเครื่องกรองอากาศในท่อหลัก (Main Line Air Filter) จะทำหน้าที่กำจัดฝุ่นละออง น้ำ และคราบน้ำมันที่ปะปนมากับลมอัดที่อยู่ในท่อส่งหลักก่อนที่จะส่งลมอัดนี้ไปใช้งานหรือ ผ่านการกรองอีกครั้งหนึ่ง
5. ชุดทำให้อากาศแห้ง มีหน้าที่ในการทำให้ไอน้ำในลมอัดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ โดยการลดอุณหภูมิของไอน้ำลงจนถึงอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง ไอน้ำเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดและไหลออกทางช่องระบายทิ้ง
6. ท่อแยกไปใช้งาน เป็นท่อที่ต่อแยกจากท่อส่งหลักไปใช้งานในตำแหน่งที่ต้องการ
7. ชุดกรองอากาศ จะทำการกำจัดฝุ่นละออง สนิมภายในท่อหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ติดมากับลมอัด เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ และยังช่วยในการกรองน้ำออกจากลมอัดด้วย
8. ชุดปรับความดันใช้งานและเกจวัดความดัน มีหน้าที่ในการรักษาระดับความดันให้อยู่ในระดับที่ต้องการและคงที่ เนื่องจากลมอัดที่เกิดจากเครื่องอัดอากาศจะมีค่าสูงกว่าความดันที่ต้องการใช้งานเล็กน้อย
9. ชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น มีหน้าที่ในการเติมน้ำมันให้ผสมกับลมอัด เพื่อช่วยหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ เพื่อให้มีการทำงานที่ราบรื่นและช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์
10. วาล์วควบคุมทิศทาง เป็นวาล์วที่ใช้ในการจ่ายลมอัดให้กับกระบอกสูบ เพื่อควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการ
11. กระบอกสูบ เป็นอุปกรณ์กำลังที่ใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังในการเคลื่อนที่เชิงเส้น
12. วาล์วควบคุมความเร็ว มีหน้าที่ในการปรับแรงดันของลมอัดที่จ่ายให้แก่กระบอกสูบตามที่ต้องการ เพื่อควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ

### 2.3.2 วาล์วควบคุมทิศทางลม (Directional control valve)

วาล์วลม (Air Valve), วาล์วควบคุมทิศทางลม (Pneumatic Directional Control Valve) มีชื่อเรียกหลายชื่อบ้างก็เรียกว่าโซลินอยด์วาล์ว (Pneumatic Solenoid Valve) แต่บางคนก็จะเรียกโซลินอยด์วาล์ว โดยให้หมายถึงวาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 เท่านั้นก็มี

การเขียนสัญลักษณ์ตั้งแต่เริ่มต้น ที่ใช้เพื่อให้รู้และเข้าใจการทำงานของวาล์วควบคุมทิศทางอย่างง่าย ๆ จึงเริ่มสัญลักษณ์ของวาล์ว แบบแมคคานิคอลวาล์วชนิด 3/2 เป็นขั้นตอนง่าย ๆ ดังนี้

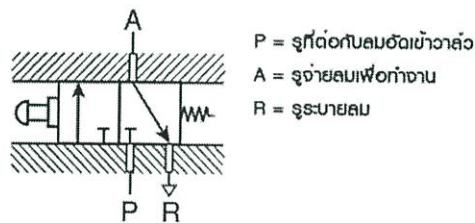
1. เขียนสัญลักษณ์โดยตัววาล์วมี 2 ตำแหน่งและมี 3 รู



รูปที่ 11 ตัววาล์วมี 2 ตำแหน่งและมี 3 รู

ที่มา : Pneu-hyd (2556)

2. การอ่านสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง จากข้อ 1 ให้จินตนาการว่า สีเหลี่ยม 2 ช่อง ตามรูปข้างล่าง คือลิ้น (spool) ของวาล์วที่เลื่อนได้ไปกลับโดยที่ตัวเรือนของวาล์วมีรูป้อนลม 3 รู

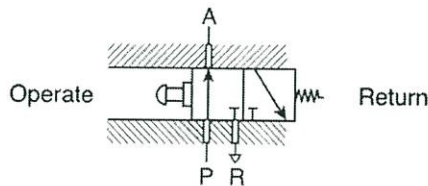


P = รูที่ต่อกับลมอัดเข้าวาล์ว  
A = รูจ่ายลมเพื่อทำงาน  
R = รูระบายลม

รูปที่ 12 การอ่านสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง

ที่มา : Pneu-hyd (2556)

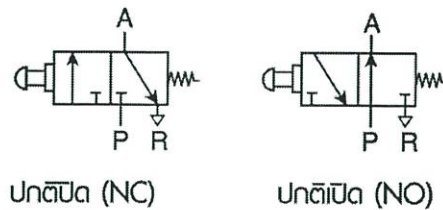
3. การเคลื่อนที่ของวาล์ว ตำแหน่งปกติลิ้นวาล์ว (Spool) จะอยู่ที่ช่องขวา ตำแหน่ง Operate คือกด Pushbutton เลื่อนลิ้นวาล์วจะถูกกดให้ช่องซ้ายตรงรูลม P,R,A



รูปที่ 13 การเคลื่อนที่ของวาล์ว

ที่มา : Pneu-hyd (2556)

ดังได้อธิบายและแสดงไว้ในรูปของข้อ 3 เรื่องสัญลักษณ์การเคลื่อนลิ้นวาล์วว่า ตำแหน่งสำหรับภาวะปกติของวาล์วได้จากช่องขวามือ โดยยังไม่แสดงสัญลักษณ์ของตัวที่ทำให้เกิดการเคลื่อนของลิ้นวาล์วควบคุมทิศทางปกติ ปิด (NC) กับปกติเปิด (NO)



รูปที่ 14 ตำแหน่งภาวะปกติเปิดหรือภาวะปกติปิดของวาล์วได้จากขวามือ  
ที่มา : Pneu-hyd (2556)



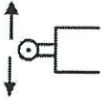
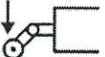
ตัวเคลื่อนลิ้นของวาล์วควบคุมทิศทาง (Pneumatic Valve) ซึ่งแบ่งออกตามชนิดของตัวเคลื่อนลิ้นวาล์ว (Spool) ได้เป็น 5 ชนิด ดังตารางต่อไปนี้

#### 1. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้มือหรือเท้า (Manual Actuator)

ก.		General	ก. ใช้กล้ามเนื้อในการเคลื่อน (ปุ่มกด) แบบทั่วไป
ข.		Push button	ข. ใช้มือกด (ปุ่มกด)
ค.		Lever	ค. ใช้คันโยกหรือมือบิด
ง.		Padle	ง. ใช้เท้าเหยียบ
จ.		Detent	จ. ใช้คันโยกหรือมือบิดแบบล็อกตำแหน่ง

รูปที่ 15 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้มือหรือเท้า (Manual Actuator)  
ที่มา : Pneu-hyd (2556)

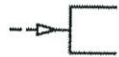


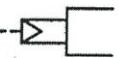
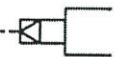
## 2. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ระบบไก (Mechanical Actuator)

- |    |   |  |   |
|----|---|--|---|
| ก. |  | Plunger  | ก. ใช้กลไกภายนอกเป็นตัวกด ทำงานสองทาง       |
| ข. |  | Spring   | ข. ใช้สปริงดันวาล์วให้กลับตำแหน่งปกติ       |
| ค. |  | Roller lever                                   | ค. ใช้ล้อลูกกลิ้งเป็นตัวกด ทำงานได้สองทาง   |
| ง. |  | Roller lever with idle return<br>(Roller Trip) | ง. ใช้ล้อลูกกลิ้งเป็นตัวกด ทำงานได้ทางเดียว |

### รูปที่ 16 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ระบบกลไก (Mechanical Actuator)

ที่มา : Pneu-hyd (2556)

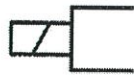
## 3. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ลม (Pneumatic Actuator)

- |    |  |                              |                                  |
|----|--|------------------------------|----------------------------------|
| ก. | ก.  | Direct by Pressure (Pilot)   | ใช้ลมในการเลื่อนวาล์วโดยตรง      |
| ข. | ข.  | Direct by Pressure Relief    | ระบายลมให้วาล์วเลื่อนโดยตรง      |
| ค. | ค.  | Differential Pressure        | เคลื่อนลิ้นด้วยความดันที่แตกต่าง |
| ง. | ง.  | Indirect by Pressure (Pilot) | ใช้ลมไปเลื่อนวาล์วทางอ้อม        |
| จ. | จ.  | Indirect by Pressure Relief  | ระบายจากวาล์วทางอ้อม             |

### รูปที่ 17 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ลม (Pneumatic Actuator)

ที่มา : Pneu-hyd (2556)

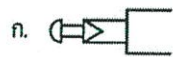
## 4. การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ไฟฟ้า (Electrical Actuator)



Solenoid

รูปที่ 18 การเคลื่อนลิ้นโดยใช้ไฟฟ้า (Electrical Actuator) ใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ขด  
ที่มา : Pneu-hyd (2556)

## 5. การเคลื่อนลิ้นแบบผสม (combined Actuation)



Push botton and Pressure

ก. ใช้ปุ่มกดและใช้ลมช่วย



Push botton or Pressure

ข. ใช้ปุ่มกดหรือใช้ลมช่วย



Roller lever and Pressure

ค. ใช้กลไกลูกก้านและลมช่วย



Solenoid and Pressure

ง. ใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าและลมช่วย



Spring Centred

จ. ใช้สปริงดัน

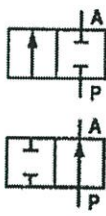
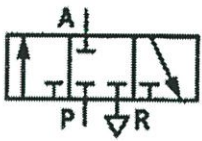
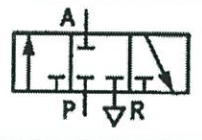
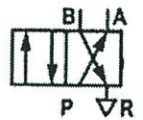
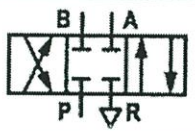
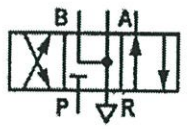

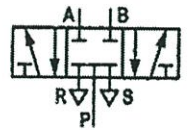
รูปที่ 19 การเคลื่อนลิ้นแบบผสม (Combined Actuation)

วางไว้ใน

ตำแหน่งกลาง

ที่มา : Pneu-hyd (2556)

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์วาล์ว

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ความหมาย
1.		<p>วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 ปกติปิด (2/2 Valve Normally Closed)</p> <p>วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 ปกติเปิด (2/2 Valve Normally Open)</p>
2.		<p>วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/2 ปกติปิด (3/2 Valve Normally Closed)</p> <p>วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/2 ปกติเปิด (3/2 Valve Normally Open)</p>
3.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/3 ตำแหน่งกลางปิด (3/3 Valve Mid-Position Closed)
4.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/2 (4/2 Valve)
5.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางปิด (4/3 Valve Mid-Position Closed)
6.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางเร่งระบายลม (4/3 Valve Mid-Position Exhausted)
7.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 (5/3 Valve)
8.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 ตำแหน่งกลางปิด (5/3 Valve Mid-Position Closed)

9.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 ตำแหน่งกลางเร่งระบายลม (5/3 Valve Mid-Position Exhausted)
----	---	--

ที่มา : Pneu-hyd (2556)

## 2.4 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

### 2.4.1 การเลือกใช้มอเตอร์

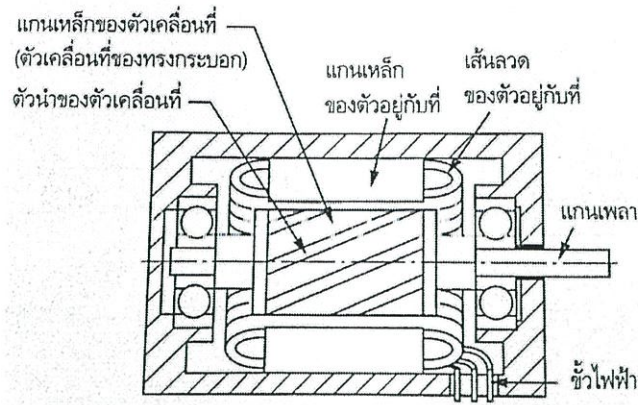
มอเตอร์ เป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานให้แก่เครื่องจักรกลที่ใช้มากที่สุด มอเตอร์ถูกนำมาใช้ในหุ่นยนต์ เครื่องจักรในกระบวนการผลิต รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ ในที่นี้จะกล่าวถึงมอเตอร์ชนิดต่าง ๆ รวมถึงหลักการในการเลือกใช้

#### (1) ชนิดของมอเตอร์

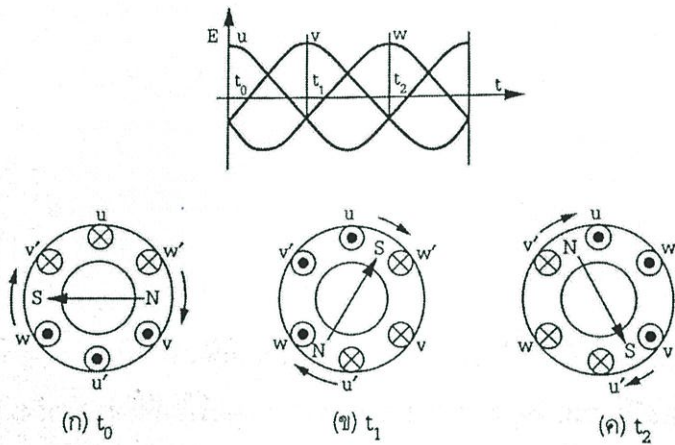
มอเตอร์ประกอบด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (AC) มอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับ (AC) มอเตอร์กระแสตรง (DC) และสแตปปีงมอเตอร์

#### 1. มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ

เป็นมอเตอร์ที่ใช้มากที่สุดเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานของเครื่องจักรกล โครงสร้างเป็นดังรูปที่ 20 จากการไหลผ่านของกระแสสลับรอบแกนที่อยู่นิ่งติดกับตัวโครงของมอเตอร์ (stator) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวนขึ้น สนามแม่เหล็กที่หมุนวนที่เกิดขึ้นนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในแกนเหล็กของตัวเคลื่อนที่ (rotor) ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนวนตามสนามแม่เหล็ก การทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวนจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส



รูปที่ 20 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ  
ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)



รูปที่ 21 สนามแม่เหล็กหมุนวนที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส (กรณีของ 2 ขั้ว)  
ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)

มอเตอร์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมล้วนเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ความเร็วรอบของการหมุนขึ้นอยู่กับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับและจำนวนขั้วของสนามแม่เหล็กหมุนวน หากมีจำนวนขั้ว 2 ขั้ว (ขั้วเหนือ ขั้วใต้ 1 คู่) ภายในช่วงเวลา 1 คาบของไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวน 1 รอบ แต่หากมีจำนวนขั้วเป็น 4 ขั้ว จะใช้เวลา 2 คาบของไฟฟ้ากระแสสลับจึงจะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนวนครบ 1 รอบ ในความเป็นจริงหากมีภาระแรงกระทำต่อตัวเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ความเร็วรอบของการหมุนจะช้ากว่านี้ประมาณ 2 – 8% ซึ่งเรียกกันว่า การลื่นไถลของมอเตอร์ (slip)

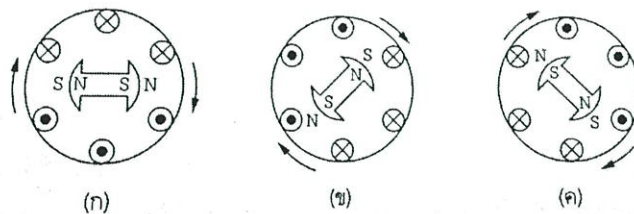
หากเปรียบเทียบมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับกับมอเตอร์กระแสตรงแล้ว มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับจะไม่มีสวิตช์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของกระแส (commutator) ทำให้สามารถทำงานได้แน่นอนและมีอายุการใช้งานยาวนาน มอเตอร์ที่ขายตามท้องตลาดมีตั้งแต่ขนาดไม่กี่วัตต์จนถึงระดับ 10 กิโลวัตต์ ขนาดที่ใช้มากที่สุดคือ 400 วัตต์ขึ้นไป แรงบิดที่ได้จะแปรผันกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ สายไฟ 3 เฟสนั้น หากสลับสายไฟ 2 เส้น จะทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นหากต้องการเพียงให้หมุนได้ก็พอควรเลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ

การควบคุมจะใช้อินเวอร์เตอร์ (ตัวควบคุมความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ) ทำให้สามารถเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟที่เข้ามอเตอร์ (f) ได้ จึงสามารถควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ได้ เช่น มอเตอร์ที่ใช้ในเพลาลูกของเครื่องขัดผิวจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ โดยที่ความเร็วรอบของการหมุนของหินขัดสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการใช้อินเวอร์เตอร์

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแบบเซอร์โวจะมีอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วของตัวเคลื่อนที่ติดตั้งอยู่ ทำให้สามารถตรวจสอบการสั่นไถลของตัวเคลื่อนที่ได้ เมื่อใช้งานร่วมกับตัวควบคุมจะสามารถควบคุมความเร็วรอบของการหมุนได้ตามที่ต้องการ เช่น มอเตอร์ที่ใช้ในเพลาลูกของเครื่องตัด กัด เจาะ จะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแบบเซอร์โวที่มีขนาดกำลังสูง และควบคุมความเร็วรอบของการหมุนของดอกเครื่องมือให้คงที่ด้วยอินเวอร์เตอร์

2. มอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับ

ตัวเคลื่อนที่ของมอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับจะทำจากแม่เหล็กถาวร จากรูปที่ 22 เมื่อใช้แรงดึงระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนวนและแม่เหล็กถาวรบนตัวเคลื่อนที่ ทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ หากเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแล้วจะมีการสั่นไถลน้อยกว่า จุดเด่น คือ ความเร็วรอบของการหมุนจะเท่ากับความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนวน อย่างไรก็ตาม หากมีภาระแรงจะทำให้เกิดมุมหน่วง



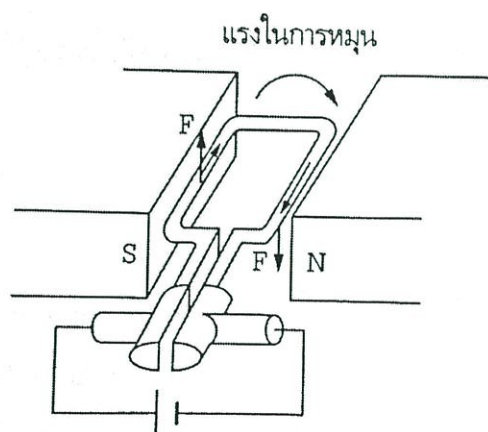
รูปที่ 22 หลักการทำงานของมอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับ

ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)

ในมอเตอร์ซิงโครนัสแบบเซอร์โวนั้นจะมีทาโคมิเตอร์ (tachometer) ติดตั้งอยู่เพื่อตรวจจับความเร็วของตัวเคลื่อนที่ และมีโรตารีเอนโคเดอร์ (rotary encoder) ติดตั้งอยู่เพื่อตรวจจับมุมของการหมุน แล้วใช้ตัวควบคุมความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อควบคุมความเร็วรอบของการหมุนและตำแหน่ง (มุมในการหมุน) เช่น มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์แบบหลายข้อต่อ เป็นต้น

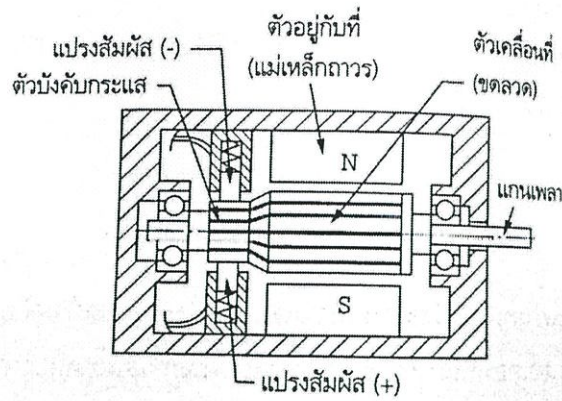
### 3. มอเตอร์กระแสตรง

หลักการของมอเตอร์กระแสตรงแสดงดังรูปที่ 23 ตัวอยู่กับที่ซึ่งอยู่ภายนอกจะเป็นแม่เหล็กถาวร แรงในการหมุนเกิดจากการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวบังคับทิศทางของกระแส (commutator) แล้วส่งเข้าสู่ขดลวดของตัวเคลื่อนที่ การทำงานจะเป็นไปตามกฎของเฟลมมิง คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงกระทำที่ตัวนำไฟฟ้า เมื่อขดลวดของตัวเคลื่อนที่หมุน จะก่อให้เกิดปริมาณกำลังไฟฟ้าแปรผันกับความเร็วรอบของการหมุน วงจรของมอเตอร์กระแสตรงเทียบเท่ากับการต่อแหล่งกำเนิดไฟตรงเข้ากับตัวต้านทานและแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรงแสดงไว้ในรูปที่ 24 ความเร็วของมอเตอร์ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟมีความต่างศักย์คงที่นั้น ความเร็วรอบจะแปรผกผันกับแรงบิด หากภาระแรงบิดสูงขึ้น จะทำให้ความเร็วรอบลดลง แต่หากภาระแรงบิดต่ำลง ความเร็วรอบจะสูงขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสร้างแรงบิดสูงได้ที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ เมื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟจะทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในสภาวะที่ภาระแรงไม่คงที่จะสามารถควบคุมได้ด้วยการปรับเปลี่ยนความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 23 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)



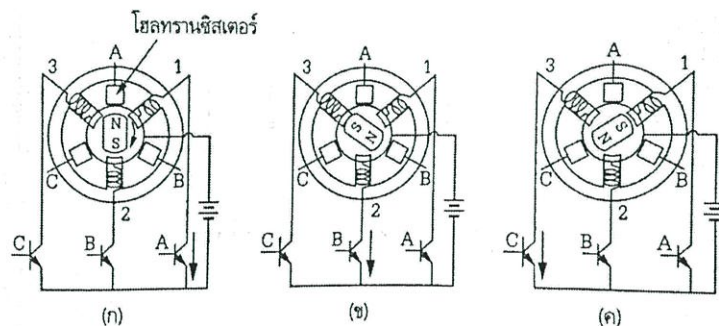
รูปที่ 24 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรง

ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)

จุดเด่นของมอเตอร์กระแสตรง คือ ส่วนประกอบของตัวควบคุมจะง่าย และสามารถควบคุมได้ดี ส่วนข้อด้อยเกิดจากการใช้ตัวบังคับกระแสและแปรงสัผัส ทำให้มีการสึกหรอของแปรง และมีฝุ่นผงจากการสึกหรอจึงต้องมีการบำรุงรักษาด้วย

4. มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัผัส

มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัผัสจะใช้การควบคุมสวิตช์แบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อแก้ปัญหาการสัมผัสกันระหว่างตัวควบคุมกระแสและแปรงสัผัสของมอเตอร์กระแสตรง หลักการทำงานแสดงดังรูปที่ 25 ตัวเคลื่อนที่จะเป็นแม่เหล็กถาวร และจะปล่อยกระแสไฟไหลผ่านตัวอยู่กับที่ โครงสร้างจะมีลักษณะคล้ายมอเตอร์ซิงโครนัสกระแสสลับ ต่างกันที่จะป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ตัวอยู่กับที่ และใช้โวลทรานซิสเตอร์หรือไฟโตทรานซิสเตอร์วัดตำแหน่งของตัวเคลื่อนที่ แล้วเปิด-ปิดกระแสที่เข้าสู่ตัวเคลื่อนที่



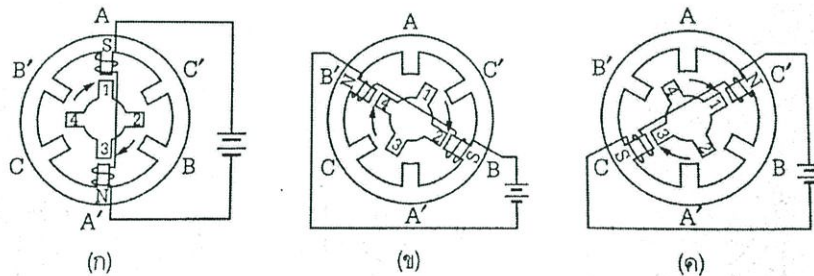
รูปที่ 25 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงสัผัส

ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)

จุดเด่นของมอเตอร์ชนิดไม่มีแปรงสัผัส คือ ยังคงมีคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของการหมุนโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นตัวขับเคลื่อนปัดสักรของคอมพิวเตอร์ เครื่องเล่นวีดีโอ และเครื่องเล่น CD เป็นต้น

#### 5. สเตปมอเตอร์ (พัลส์มอเตอร์)

สเตปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดของตัวอยู่กับที่ให้เกิดสนามไฟฟ้าต่อกันไปเป็นลำดับ ก่อให้เกิดแรงดึงกับขั้วของตัวเคลื่อนที่ทำให้เกิดการหมุน ดังตัวอย่างหลักการทํางานในรูปที่ 26 จะเกิดสนามไฟฟ้าตามลำดับจาก A → B → C ทำให้เกิดแรงดึงระหว่าง A กับขั้ว 1, B กับขั้ว 2, C กับขั้ว 3 ทำให้ตัวเคลื่อนที่หมุนเป็นมุมครึ่งละ  $30^\circ$  การปล่อยกระแสไฟให้ไหลผ่านขดลวดของตัวเคลื่อนที่เป็นลำดับจะใช้วงจรพัลส์ ดังนั้นจึงสามารถกำหนดการหมุนของตัวเคลื่อนที่ได้ตามจำนวนพัลส์ จำนวนรวมของพัลส์จะกำหนดมุมทั้งหมดที่หมุนไป ความถี่ของพัลส์จะกำหนดความเร็วในการหมุน เนื่องจากสามารถควบคุมได้โดยใช้พัลส์ จึงใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ดิจิทัลได้ง่าย สามารถบังคับมุมของการหมุน ความเร็ว ทิศทางการหมุนไป-กลับเคลื่อนที่หรือหยุดได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ ความเร็วหรืออุปกรณ์ตรวจจับอื่นๆ และไม่ใช้การป้อนกลับแบบที่ใช้ในเซอร์โวมอเตอร์ วงจรสำหรับควบคุมจึงง่าย ถ้าหากปล่อยกระแสไฟเข้าไปตลอดเวลาจะสามารถยึดตัวเคลื่อนที่ไว้ ณ ตำแหน่งนั้นได้



รูปที่ 26 หลักการทำงานของสเตปมอเตอร์

ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)

กำลังของสเตปมอเตอร์ที่ใช้กันมากมีขนาดตั้งแต่ 1 – 30 วัตต์ ซึ่งเป็นขนาดเล็ก มุมที่หมุนต่อสเตปมีตั้งแต่  $0.36^\circ$  (หมุน 1 รอบใช้ 1,000 สเตป) จนถึง  $18^\circ$  (หมุน 1 รอบใช้ 20 สเตป) โดยส่วนใหญ่จะใช้ในงานที่ต้องการกำลังไม่มาก งานที่ต้องควบคุมบ่อยๆ เช่น ใช้ในการปรับตำแหน่งของโต๊ะเคลื่อนที่ XY ขนาดเล็กที่ใช้ในงานด้านแสง

## (2) วิธีการเลือกขนาดมอเตอร์

การเลือกขนาดมอเตอร์นั้น ขั้นต้นจะต้องทำความเข้าใจว่าต้องการคุณสมบัติใดของมอเตอร์เพื่อใช้ในเครื่องจักรกลที่กำลังออกแบบ เงื่อนไขที่สำคัญในการเลือกมอเตอร์คือ ขนาดของภาระแรง (เพื่อใช้ในการเลือกขนาดของมอเตอร์) และเงื่อนไขในการควบคุม

## 1. การเลือกขนาดของมอเตอร์

เริ่มแรกจะต้องพิจารณาว่าต้องการกำลังขาออกของมอเตอร์เท่าใด ดังนั้นจึงต้องพิจารณาจากภาระแรงบิดในสภาพการทำงานปกติ และแรงบิดที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดความเร็ว

## - ภาระแรงบิดในสภาพการทำงานปกติ

เป็นแรงบิดที่ประกอบด้วยแรงบิดที่ใช้ในการทำงาน และแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานของระบบส่งต่อกำลัง (เกลิยวส่งกำลัง แบริ่ง เป็นต้น) เช่น ใช้ระบบรอกและโซ่ยกภาระน้ำหนัก  $W=500 \text{ kgf}$  แสดงดังรูปที่ 27 ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรอก  $D = 200 \text{ มม.} = 0.2 \text{ ม.}$  และอัตราทดของระบบเฟืองทด (gear box) เป็น  $1/R = 1/50$  แล้ว ภาระแรงบิด TL ที่เพลามอเตอร์จะเป็น

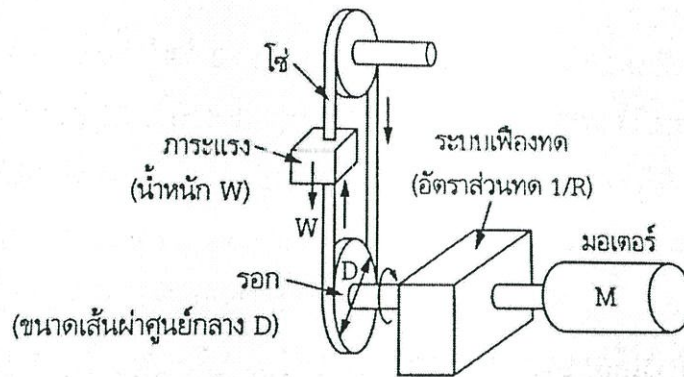
$$TL = W \times \frac{D}{2} \times \frac{1}{R} = 500 \times \frac{0.2}{2} \times \frac{1}{50} = 1 \text{ kgf} \cdot \text{m} \quad (2.1)$$

ภาระกำลังในสภาพทำงานปกติ PL จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ N และแสดงโดย

$$PL = \frac{TL \cdot N}{973\eta} \quad (\eta \text{ คือ ค่าประสิทธิภาพ}) \quad (2.2)$$

หากสมมติให้  $\eta = 1$  และ  $N = 1,000 \text{ rpm}$  แล้ว

$$PL = \frac{1 \times 1000}{973 \times 1} = 1.03 \approx 1 \text{ kW}$$



รูปที่ 27 ตัวอย่างของระบบที่ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน  
ที่มา : หนังสือแนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล (2548)

- แรงบิดที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดความเร็ว

จะต้องพิจารณาถึงแรงบิดที่จะทำให้ได้ความสามารถในการเพิ่มหรือลดความเร็วตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการ เช่น จะต้องใช้เวลาเท่าไรในการเพิ่มความเร็วจนหยุดนิ่งจนได้ความเร็วในสภาพการทำงานปกติ หรือจะต้องใช้เวลาเท่าไรเพื่อลดความเร็วจนหยุดนิ่ง ในการพิจารณาแรงบิดนี้จำเป็นต้องรู้ค่าโมเมนต์ของความเฉื่อย ( $I$ ) ของระบบ ค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยรวมจะอยู่ในรูปปริมาณ  $GD^2$  (จี้ตีสแควร์) โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่าง  $GD^2$  และ  $I$  จะเป็น

$$GD^2 = 4gl \quad (2.3)$$

มีหน่วยเป็น  $\text{kgf}\cdot\text{m}^2$  ไม่ว่าจะ เป็นระบบขับเคลื่อนแบบหมุนหรือระบบขับเคลื่อนแบบเส้นตรง จะต้องหาค่าสมมูลของ  $GD^2$  รอบแกนมอเตอร์ ซึ่งความจริงแล้วค่า  $GD^2$  สามารถหาค่าได้จากตารางหรือสมการ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับรูปทรงแต่ละแบบและชนิดของระบบขับเคลื่อน

ตัวอย่างเช่น ระบบที่พิจารณาก่อนหน้านี้ที่ใช้ระบบรอกและโซ่ขับเคลื่อนภาระน้ำหนัก  $W$  หากไม่พิจารณาน้ำหนักของรอกและโซ่ และพิจารณาว่ามีมวลขนาด  $W/g$  เป็นจุดอยู่ที่ระยะ  $D/2$  แล้ว

$$l = \frac{W}{g} = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (2.4)$$

$$GD^2 = 4gl = WD^2 \quad (2.5)$$

ค่า  $GD^2$  ของเพลามอเตอร์จะได้จากการแทนค่า  $W = 500 \text{ kgf}$ ,  $D = 0.2 \text{ ม.}$ ,  $1/R = 1/50$  ลงไป

$$GD^2 = WD^2 \times \left(\frac{1}{R}\right)^2 = 500 \times (0.2)^2 \times \left(\frac{1}{50}\right)^2 = 0.008 \text{ kgf} \cdot \text{m}^2 \quad (2.6)$$

แรงบิดใช้เพื่อเพิ่มความเร็วของเพลามอเตอร์  $Ta$  จากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วรอบปกติ  $N$  (rpm) ภายในเวลา  $t_a$  (sec) จะเป็น

$$Ta = \frac{DG^2 \cdot N}{375t_a} \quad (2.7)$$

หากให้  $N = 1,000 \text{ rpm}$  และเวลาที่ใช้  $t_a = 0.1$  วินาที แล้ว

$$Ta = \frac{0.008 \times 1,000}{375 \times 0.1} = 0.213 \text{ kgl} \cdot \text{m}$$

ดังนั้นกำลังบิดเพื่อเพิ่มความเร็วหรือลดความเร็ว  $Pa$  จะเป็น

$$Pa = \frac{Ta \cdot N}{973} = \frac{GD^2 \cdot N^2}{365 \times 10^3 \cdot t_a} = \frac{0.008 \times 1,000^2}{365 \times 10^3 \cdot 0.1} = 0.219 \text{ kW} \quad (2.8)$$

จากการคำนวณในลักษณะเช่นนี้จะได้แรงบิดสูงสุดในการเพิ่มหรือลดความเร็ว และแรงบิดในสภาพการทำงานปกติของมอเตอร์ จากนั้นนำค่านี้ไปใช้เลือกขนาดของมอเตอร์จากแคตตาล็อก

## 2. เงื่อนไขการควบคุม

เป็นเงื่อนไขแสดงลักษณะการควบคุมความเร็วรอบและตำแหน่ง การพิจารณาเลือกซื้อไม่ใช่เพียงเฉพาะตัวมอเตอร์เท่านั้น จะต้องพิจารณาประสิทธิภาพของตัวควบคุมควบคุมไปด้วย ถึงแม้ว่ามอเตอร์จะมีความสามารถในการเพิ่มหรือลดความเร็ว แต่อาจเกิดปัญหาที่ตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมให้เพิ่มความเร็วได้ตามที่ต้องการ

## 2.4.2 การออกแบบเพลลา

เพลลา เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีความสำคัญต่อระบบส่งถ่ายกำลัง ซึ่งอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้ เพลลา(Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งถ่ายกำลัง

การใช้งานของเพลลาจะมีชิ้นส่วนอื่น ๆ ประกอบอยู่ด้วย เช่น เฟือง ล้อ สายพาน ล้อช่วยแรง ข้อเหวี่ยง ล้อโซ่ เป็นต้น ทำให้เพลลาได้รับแรงในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ แรงดึง แรงอัด แรงดัด และแรงบิด ซึ่งแรงเหล่านี้อาจกระทำเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง หรือกระทำพร้อม ๆ กันก็ได้ อันเป็นผลให้เพลลาเกิดความเสียหายจากแรงกระทำนั้น ๆ ฉะนั้นจำเป็นจะต้องออกแบบเพลลาให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาให้เหมาะสม และมีความแข็งแรง เพียงพอสำหรับการใช้งาน

### (1) วัสดุเพลลา

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพลลา นักออกแบบจะต้องคำนึงสภาพการใช้งานและภาระที่เพลลาต้องรับเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วเราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพลลาตามขนาดระบุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไป คือเหล็กกล้าละมุน (Mild steel) ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI1347, 3140, 4150 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อนอย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาาก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

### (2) ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลลา ซึ่งระบุขนาดใน ISO / R 755 – 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลลาด้วย

ตารางที่ 2 แสดงขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R 755-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นมิลลิเมตร				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

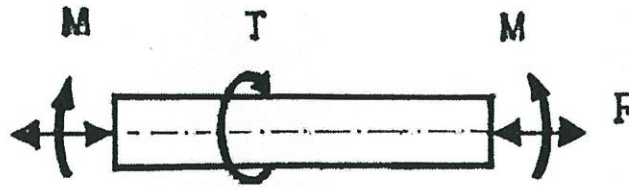
ที่มา : ปริญญาานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (2548)

### (3) หลักพิจารณาในการออกแบบเพล

การคำนวณหาขนาดเพลที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดเพลที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือเพลจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแบร็ริงที่รองรับเพลอยู่เกิดความเสียหายง่ายยิ่งขึ้น

### (4) การออกแบบตามโค้ดของ ASME

วิธีการคำนวณหาขนาดของเพลส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) แม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตามวิธีการออกแบบเพลตามโค้ดของ ASME ก็ยังสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพล ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลให้พิจารณาเพลารูปที่ 28



รูปที่ 28 แสดงเพลายู่ภายใต้แรงต่าง ๆ

ที่มา : ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (2548)

การออกแบบการคำนวณเพล่าในการออกแบบหาขนาดของเพล่า จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้

1. กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพล่าส่งกำลัง
2. ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพล่า รวมทั้งรูปร่าง ขนาด วัสดุ และผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดความเค้นตกค้าง (Stress Concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพล่า
3. ความแกร่ง (Stiffness หรือ Rigidity) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของเพล่าเมื่อรับภาระ
4. ความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพล่าอันเป็นผลเนื่องมาจากการแอ่นตัวของเพล่า

การหาค่าตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด ( $C_t$ ) และค่าตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด ( $C_m$ ) สำหรับการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพล่า สามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	$C_m$	$C_t$
เพล่าอยู่นิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1	1
แรงกระตุก	1.5 – 2.0	1.5 – 2.0
เพล่าหมุน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1
แรงกระตุกอย่างเบา ๆ	1.5 – 2.0	1.0 – 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 – 3.0	1.5 – 3.0

ที่มา : ปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (2548)

## 2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุ

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักรกลมีดังต่อไปนี้

### 1. มีความแข็งแรงที่พอเพียง

ความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงกดมีค่าสูง ค่าสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่นมีค่าสูง มีความแข็งแรง หรือ อีกนัยหนึ่งคือ แดกหักได้ยาก ความแข็งแรงต่อความล้ามีค่าสูง และทนต่อการกัดกร่อน

### 2. สามารถปรับแต่งได้ง่าย

สามารถปรับแต่งโดยการปาดเนื้อหรือการเชื่อม สามารถปรับแต่งให้เกิดการตัดงอหรือยึด เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี

### 3. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ความหนาแน่น อัตราการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ความสามารถในการนำความร้อน ความสามารถในการนำไฟฟ้า จุดหลอมละลาย เป็นต้น

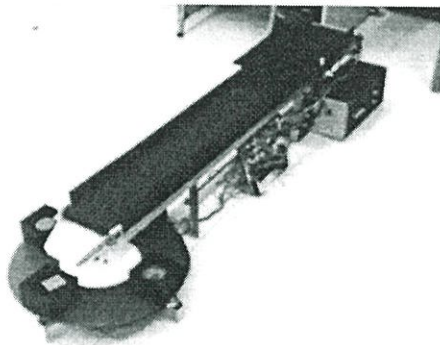
วัสดุที่ใช้ในเครื่องจักรกลส่วนใหญ่มักเป็นโลหะ ในจำพวกโลหะด้วยกัน เหล็กจะถูกใช้มากที่สุด เหตุผลที่เหล็กถูกนำมาใช้มากก็เนื่องมาจากหาได้ง่าย ราคาถูก มีความแข็งแรงสูง ปรับแต่งได้ง่าย และทำให้ได้คุณสมบัติที่จำเป็นตามที่ต้องการได้โดยการขึ้นรูปความร้อนและอื่น ๆ ในการออกแบบจริงนั้นสามารถพิจารณาว่าวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่แล้วคือเหล็กได้เลย แต่ถึงแม้วัสดุจะเป็นเหล็กก็ตาม ถ้าใส่ส่วนผสมชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ก็จะได้วัสดุที่มีคุณสมบัติต่างกัน ซึ่งวัสดุที่ถูกใช้มากที่สุดคือ เหล็กกล้า SS400 โครงแผ่นกระดาน หรือวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างทั่วไปนั้นส่วนใหญ่สามารถใช้วัสดุ SS400 ได้ ในกรณีของแกนเพลลาหรือส่วนที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษจะใส่คาร์บอนประมาณ 0.5% ลงในเนื้อเหล็ก ทำให้ได้เป็นเหล็กคาร์บอน เหล็กคาร์บอนที่ถูกใช้มากที่สุดคือ วัสดุ S45C (มีปริมาณคาร์บอนผสม 0.45%) เหล็กคาร์บอนสามารถขึ้นรูปทางความร้อนได้โดยการชุบแข็งหรืออบนึ่ง เพื่อเพิ่มความแข็งได้ หากต้องการเพิ่มความแข็งให้มากขึ้นอีกสามารถทำได้โดยการเพิ่มสารประกอบต่าง ๆ ลงไป หรือการขึ้นรูปด้วยความร้อนจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเหล็ก

ในกรณีที่ต้องการความเบา เช่น ใช้ในเครื่องบิน ควรใช้อะลูมิเนียม อะลูมิเนียมก็สามารถเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงได้โดยการใส่สารประกอบหรือการขึ้นรูปความร้อนได้เช่นเดียวกัน

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องคัดแยกสี

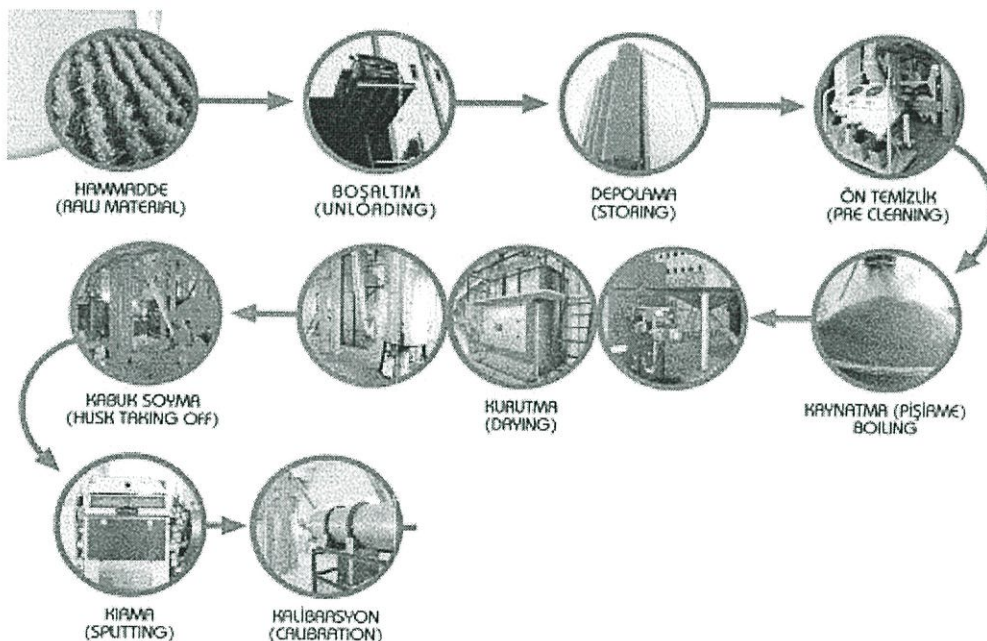
กิตติและประนอม (2536) เครื่องคัดแยกสีมะเขือเทศ สร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แทนแรงงานคนในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ โดยมีส่วนประกอบเครื่องดังนี้ คือ 1) รางน้ำป้อนมะเขือเทศ 2) ชุดสายพานป้อนมะเขือเทศ ซึ่งเป็นตัวลำเลียงมะเขือเทศขึ้นจากรางน้ำ 3) ชุดสายพานลำเลียงมะเขือเทศที่ละผล 4) ชุดตรวจวัดด้วยแสง ซึ่งใช้ LDR เป็นตัววัดความเข้มของสี 5) ชุดคัดแยกด้วยระบบนิวแมติกส์ ซึ่งทำงานเมื่อมะเขือเทศมีสีไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ในผลการทดสอบพบว่าที่มุมระหว่างสายพานป้อนมะเขือเทศและสายพานลำเลียงเท่ากับ  $50^{\circ}$  (การทดลองใช้มุม  $40^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ) ที่ความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที เป็นสภาวะที่มะเขือเทศเคลื่อนที่ได้ดีที่สุด โดยอัตราการป้อนเท่ากับ 96 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สำหรับการคัดแยกสี เครื่องทำงานได้ดีที่อัตราส่วนของมะเขือเทศที่ต้องการคัดออกและไม่ต้องการคัดออกเป็น 1:7 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดสีเป็น 36%

กันตภณ (2559) ได้พัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกสีวัตถุอัตโนมัติบนสายพานลำเลียงที่ถูกควบคุมด้วยอาคูโน ตัวเครื่องสามารถปฏิบัติงานได้ตามการออกแบบให้แยกชนิดวัตถุที่เป็นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีอื่น ๆ และเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังสถานที่ที่กำหนดไว้อัตโนมัติโดยอาศัยการควบคุมของอาคูโน ใช้ตัวตรวจจับแบบไฟเบอร์ออปติก เซนเซอร์อ่านค่าปริมาณของความเข้มของแสงที่กระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมายังเซนเซอร์ แปลผลเป็นสัญญาณที่แตกต่างกันตามแต่ละสีของวัตถุ จากผลการวิจัยเครื่องคัดแยกสีอัตโนมัติบนระบบสายพานลำเลียงพบว่าสามารถคัดแยกวัตถุสีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีอื่น ๆ โดยเวลาเฉลี่ยของวัตถุที่ทดสอบปรากฏว่าวัตถุสีแดง 9.96 วินาที วัตถุสีเขียว 13.47 วินาที วัตถุสีน้ำเงิน 16.58 วินาที และวัตถุอื่น ๆ 9.04 วินาที และสามารถหมุนลาดเพื่อรับวัตถุในตำแหน่งที่ต้องการได้ถูกต้อง



รูปที่ 29 เครื่องคัดแยกวัตถุด้วยสีอัตโนมัติตามสายพานลำเลียง  
ที่มา : กันตภณ พลิวโรสง (2559)

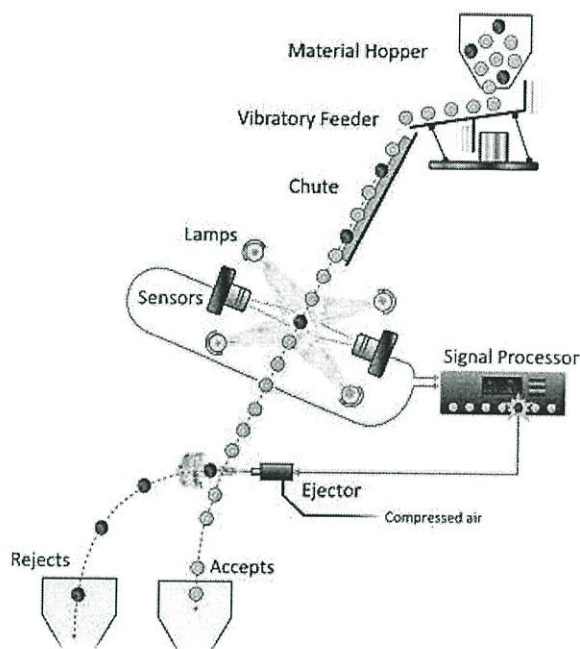
Bayram (2006) ศึกษาการกำหนดความเหมาะสมและผลการกระทบของระบบการคัดแยกสีในสายการผลิตข้าวสาลีพันธุ์ Bulgur ได้มีการนำระบบการเรียงลำดับสีที่ปรับเปลี่ยนมาใช้ในสายการผลิตข้าวสาลีพันธุ์ Bulgur เพื่อป้องกันการสูญเสียทางเศรษฐกิจในประเทศ เนื่องจากไม่มีเมล็ดข้าวสาลีที่เป็นเนื้อเดียวกันไม่มีเมล็ดพันธุ์ต่างประเทศและเมล็ดสีแดง ไม่สามารถแยกวัสดุที่มีสีต่างกันออกไปได้โดยใช้ระบบทำความสะอาดข้าวสาลีที่มีอยู่ ขั้นตอนการผลิต Bulgur ได้รับการตรวจสอบก่อนเพื่อหาขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการเรียงลำดับสีอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการคัดเลือกสีที่ผ่านการปรับเปลี่ยนได้ถูกนำมาใช้กับวัตถุดิบที่ผ่านการทำความสะอาดก่อนแล้ว ข้าวสาลีที่ผ่านการสุกและแห้งแล้วตกลงในถังสีที่ไม่ได้ใช้แล้วสีที่ไม่ได้จัดสีและ Bulgur ละเอียดเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพโดยการวัดค่าสีเช่น L, b และ YI และความบริสุทธิ์ร้อยละของอนุภาคที่ยอมรับได้ / จำนวนอนุภาคทั้งหมด) ที่ตัวจับเวลาทางเข้าและทางเข้า - ทางออก พบว่าระบบการคัดแยกสีไม่เหมาะสมกับการใช้กับข้าวสาลี (วัตถุดิบ) และสูกแบบอบแห้งและอบแห้งเนื่องจากคุณสมบัติพื้นผิวและไม่มี ความแตกต่างของสีที่เด่นชัด ค่า L และ b ของ dehydrated bulgur และ milled-unclassified-bulgur เพิ่มขึ้นหลังการเรียงลำดับ System ตรงกันข้ามกับค่า a และ Y ที่ลดลงเนื่องจากการถอด Roddish หรือ Brown bulgur และวัสดุจากต่างประเทศ ค่าสีแต่ละสีแสดงให้เห็นว่าระบบการจัดเรียงสีช่วยเพิ่มสีสันของ Bulgur การเพิ่มขนาดอนุภาคของ Bulgur ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการคัดแยกสีให้เหลือ 99.10%



รูปที่ 30 การไหลของการผลิตข้าวสาลีพันธุ์ Bulgur

ที่มา : Bayram (2006)

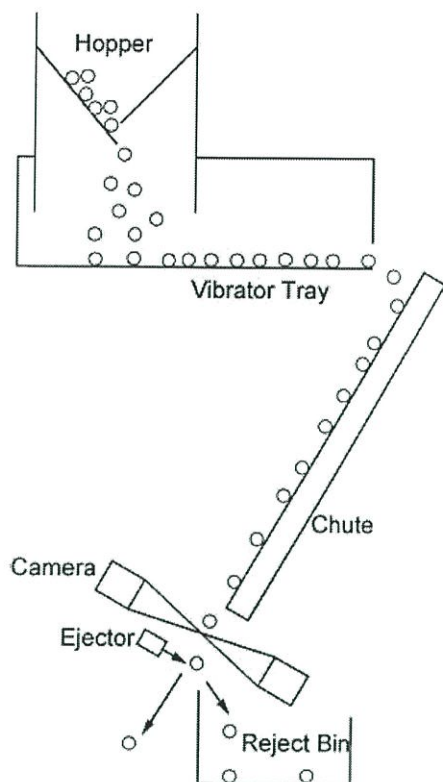
Australia (2017) ได้ผลิตเครื่องคัดแยกแสงและสี Satake โดยเครื่องคัดแยกสีและออฟติคอล ช่วยให้เราสามารถใช้คุณลักษณะแต่ละอย่างของแต่ละเครื่องเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ วิธีนี้เป็นโซลูชันที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการของคุณแทนที่จะเป็นเครื่องเดียวที่เหมาะสมกับการประนีประนอมทั้งหมด Satake Australia ให้การทดสอบการติดตั้งการว่าจ้างอะไหล่บริการและโปรแกรมการฝึกอบรมอย่างครบถ้วน



รูปที่ 31 หลักการทำงานภายในเครื่องคัดแยกแสงและสี Satake  
ที่มา : Australia (2017)

Camacho and Lewis (2007) ใส่รางในเครื่องคัดแยกข้าว ข้าวจะตกลงและไหลลงไปยังรางอลูมิเนียม โดยจุดประสงค์ของรางคือเพื่อแยกธัญพืชและควบคุมการกระจาย ที่ด้านล่างของรางน้ำแม่สีจะตรวจสอบด้วยเลนส์ แม่สีปนเปื้อนหรือแม่สีที่มีข้อบกพร่องจะถูกเป่าออกจากกระแสลมโดยลมอัด เครื่องมีความสามารถในการคัดแยกข้าวที่มีคุณภาพต่ำซึ่งมีสารปนเปื้อนจำนวนมากเช่นแกลบ แกลบเป็นสารกีดกร่อนมากและสิ่งนี้พร้อมกับปัจจัยอื่น ๆ สามารถนำไปสู่การลดอายุการใช้งานของรางน้ำโดยการสึกหรอของพื้นผิวรางได้ ในงานวิจัยนี้ได้มีการดำเนินการวิเคราะห์ความล้มเหลวเพื่อกำหนดลักษณะและสาเหตุของการสึกหรอของพื้นผิวรางและกลไกการกำจัดวัสดุ การสวมใส่เกิดขึ้นในขั้นต้นที่สถานที่ที่ธัญพืชเริ่มกระทบที่รางและที่บริเวณถัดไปตามรางน้ำที่มีการโค้งกลับ การทดลองและการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของข้าวที่ส่งผลกระทบต่อรางน้ำได้ดำเนินการควบคู่ไปกับการทดสอบ

แรงเสียดทานของวัสดุรางที่มีศักยภาพ หลักฐานที่รวบรวมระหว่างการวิเคราะห์ความล้มเหลวพร้อมกับการวิเคราะห์เชิงทดลองใช้เพื่อเสนอการปรับปรุงวัสดุ c และการออกแบบที่เป็นไปได้

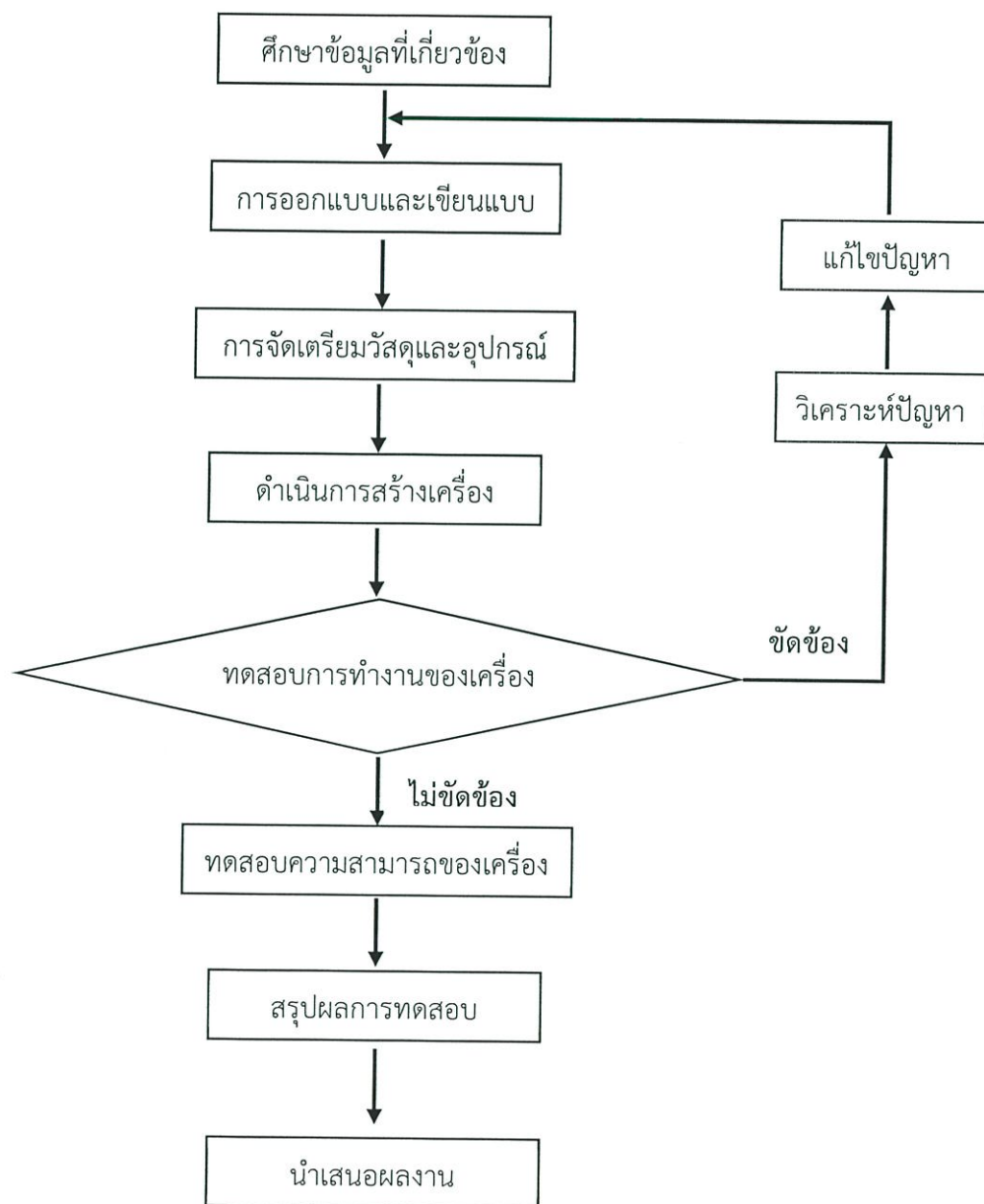


รูปที่ 32 หลักการทำงานภายในเครื่องคัดแยกข้าว  
ที่มา : Camacho and Lewis (2007)

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

การสร้างเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด จะต้องศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปในการสร้างเครื่อง ตลอดจนการวางแผนการดำเนินโครงการให้เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสดนี้มีความสามารถในการทำงานตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้น ผู้จัดทำโครงการจึงได้ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องตามขั้นตอนดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการสร้างเครื่อง

### 3.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน การออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด  
ได้แก่

#### 3.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- กาแฟ
- ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ
- พันธุ์กาแฟที่มีความสำคัญในเชิงเศรษฐกิจของประเทศไทย
- การเก็บเกี่ยวกาแฟ

#### 3.1.2 ทฤษฎีความรู้ที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ภายในวงจร

- บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
- อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optocouplers)
- Sensor

#### 3.1.3 ทฤษฎีความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์

- ระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน
- วาล์วควบคุมทิศทาง (DIRECTIONAL CONTROL VALVE)

#### 3.1.4 ทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

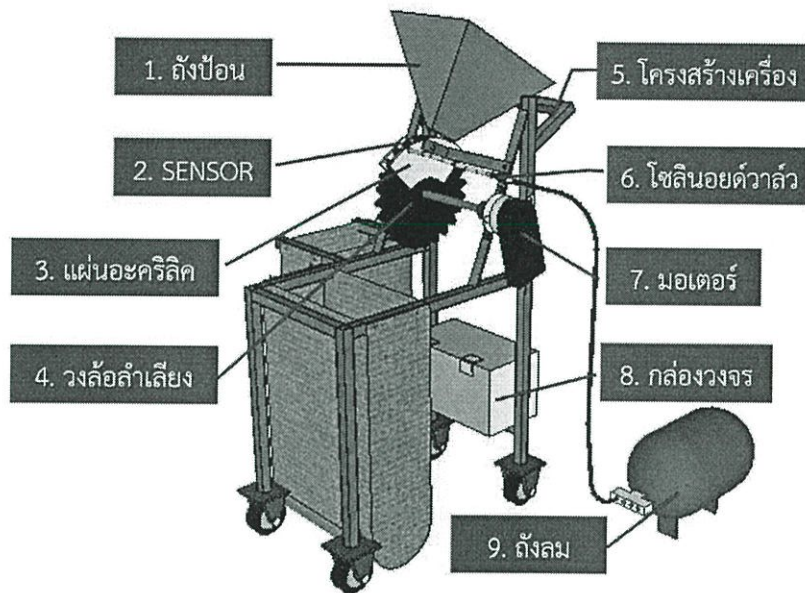
- มอเตอร์
- การออกแบบเพลลา

#### 3.1.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุ

### 3.1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 3.2 การออกแบบเครื่อง

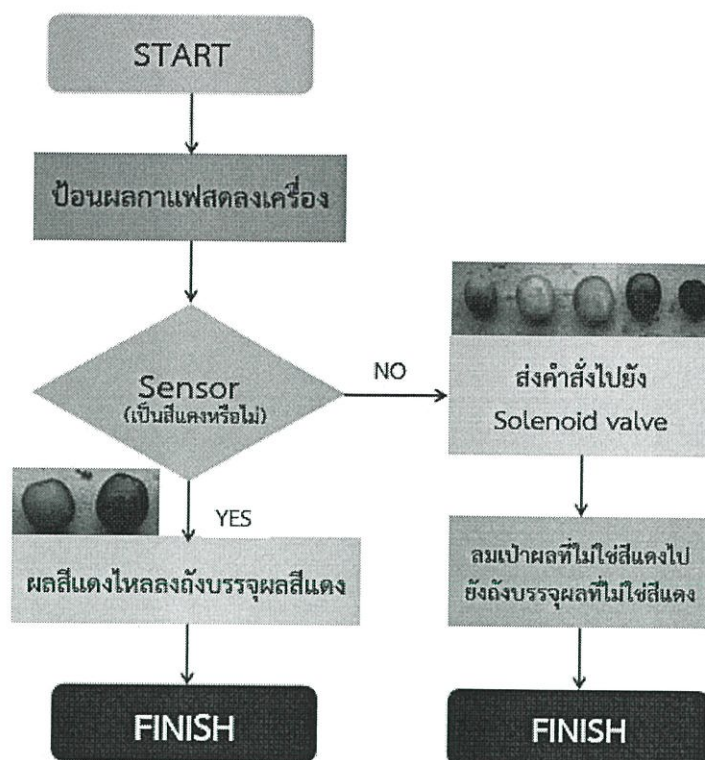
เครื่องต้นแบบคัดแยกสีผลกาแฟสดประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ แสดงดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 เครื่องต้นแบบคัดแยกสีผลกาแฟสด

### 3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด

เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสดเริ่มทำงานจากการป้อนผลกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 – 16 มม. ลงถึงป้อนผลกาแฟสด ผลกาแฟสดจะลงสู่ช่องว่างที่ขนาด 17×17 มม. ของวงล้อลำเลียงผลกาแฟสด วงล้อลำเลียงผลกาแฟสดมีหน้าที่หมุนเพื่อลำเลียงผลกาแฟสด เมื่อผลกาแฟสดผ่าน sensor ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการตรวจจับสี และรับค่าเพื่อส่งคำสั่งไปยัง Solenoid valve เพื่อสั่งให้ระบบนิวแมติกส์ทำงานโดยใช้ลมเป่าผลกาแฟสดที่ไม่ใช่สีแดงให้ไปตกในกระสอบที่ใส่ผลกาแฟสดที่ไม่ใช่สีแดง แต่ถ้าหาก sensor ตรวจจับสีแล้วพบว่าเป็นผลกาแฟสดสีแดงก็ปล่อยลงกระสอบที่ใส่ผลกาแฟสดสีแดง โดยสามารถดูคำสั่งภาษาซีได้จากภาคผนวก ค



รูปที่ 35 หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด

### 3.3 การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

#### 3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- บอร์ด Arduino Mega 2560
- เซ็นเซอร์ RGB
- สายไฟ
- วาล์วควบคุมทิศทางแบบปิด 2/2
- ตัวต้านทาน ขนาด 330 โอห์ม
- ตัวต้านทาน ขนาด 500 โอห์ม
- ตัวต้านทาน ขนาด 1,000 โอห์ม
- หลอด RGB LED แบบขุ่น
- IC Optocoupler

- เหล็กกล่อง 1 นิ้ว
- แผ่นอะลูมิเนียม
- ท่ออะลูมิเนียม
- ถังลม
- วงล้อเรซิน
- ล้อรถเข็น (ล้อเป็น+ตาย)
- แผ่นอะคริลิก หนา 3 มม.
- มอเตอร์
- เฟืองสเตอร์
- อุปกรณ์สปัดมอเตอร์
- เหล็กเพลตัน
- แผ่นเหล็กกลม
- แบตเตอรี่แห้ง

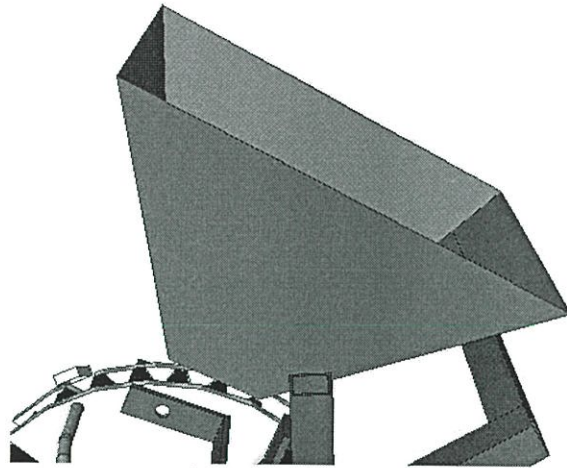
### 3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการสร้างเครื่อง

- ตู้เชื่อมไฟฟ้า
- ตู้เชื่อมแก๊ส
- เครื่องกลึงโลหะ
- เครื่องตัดเหล็ก
- เครื่องเจาะ
- เครื่องเจียรระไนมือ
- เครื่องตัดแผ่นเหล็ก
- เครื่องตัดเหล็กแผ่น

## 3.4 ขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่อง

### 3.4.1 การสร้างถังป้อนผลกาแฟสด มีขั้นตอนดังนี้

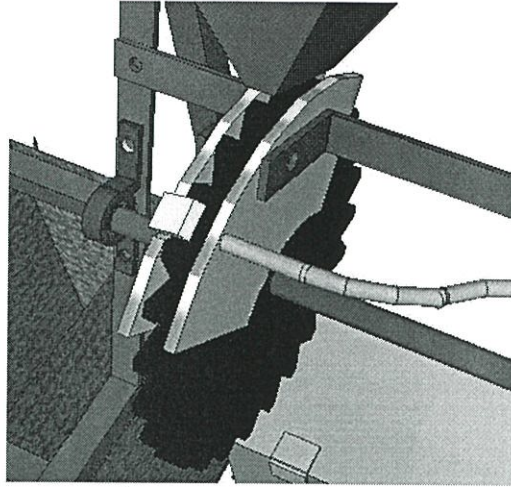
ส่วนของถังลำเลียงทำจากแผ่นอะลูมิเนียม จำนวน 4 แผ่น ประกอบกันเป็นพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม มีฐานยาว 25 เซนติเมตร มีด้านประกอบมุมยอดทำมุมกับฐานเป็น 70 องศา และมีค้ำยาว 1.5 เซนติเมตรออกมาหนึ่งด้าน เพื่อพับทำมุม 90 องศา และเชื่อมติดกับแผ่นอื่น ๆ แล้วตัดยอดพีระมิดเข้าไป 3.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 ถังป้อนผลกาแฟสด

#### 3.4.2 การสร้างวงล้อลำเลียงผลกาแฟสด มีขั้นตอนดังนี้

ส่วนของวงล้อสำหรับลำเลียงผลกาแฟทำมาจากเรซิน โดยนำเรซินมาหล่อเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26.5 เซนติเมตร หนา 1.7 เซนติเมตร จากนั้นสร้างร่องบริเวณขอบวงกลมเป็นรูปสามเหลี่ยมมีฐานยาว 2.7 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร จำนวน 24 ร่อง แต่ละร่องมีขนาด 17×17 มิลลิเมตร สำหรับรองรับผลกาแฟสดที่จะหล่นมาจากถังป้อนผลกาแฟสด และจะมีแผ่นอะคริลิก หนา 3 มิลลิเมตร ประกอบอยู่ด้านข้าง เพื่อช่วยควบคุมให้ผลกาแฟคงอยู่ในร่อง จากนั้นนำแกนเพลานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตร มาประกอบเข้ากับวงล้อลำเลียงผลกาแฟสดและต่อเข้ากับมอเตอร์เพื่อใช้งาน ดังรูปที่ 37



รูปที่ 37 วงล้อลำเลียงผลกาแฟสด

### 3.4.3 การสร้างโครงสร้างเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด มีขั้นตอนดังนี้

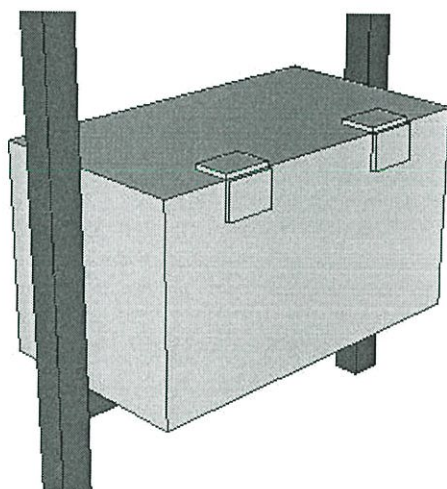
ส่วนของขาทั้ง 4 ขา ทำมาจากเหล็กกล่องหนา 4 มิลลิเมตร ความยาว 50 เซนติเมตร และ 110 เซนติเมตร จำนวนอย่างละ 2 เส้น ส่วนของคานรับแนวนอน ทำมาจากเหล็กกล่องหนา 4 มิลลิเมตร ความยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น ความยาว 30 เซนติเมตร จำนวน 3 เส้น และความยาว 25 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น ประกอบกันเป็นโครงสร้าง ดังรูปที่ 38 และรูปเพิ่มเติมในภาคผนวก ข



รูปที่ 38 โครงสร้างเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด

### 3.4.4 การสร้างกล่องบรรจุวงจร มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 17.5×30 ซม. จำนวน 1 แผ่น เป็นฝาปิด
2. ตัดแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 17×30 ซม. จำนวน 1 แผ่น เป็นฐานกล่อง
3. ตัดแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 11×17.5 ซม. และขนาด 11×30 ซม. จำนวนอย่างละ 2 แผ่น เป็นด้านข้าง
4. ประกอบทุกด้านเข้าด้วยกัน โดยติดมีบบานพับไว้ที่ฝา ดังรูปที่ 39



รูปที่ 39 กล่องบรรจุวงจรอิเล็กทรอนิกส์

### 3.4.5 การสร้างที่สวมท่อลมของระบบนิวแมติกส์ มีขั้นตอนดังนี้

ตัดท่ออะลูมิเนียมและตัดแท่งเหล็ก แล้วนำมาเชื่อมติดกับโครงสร้างเครื่อง

## 3.5 ทดสอบการทำงานของเครื่อง

### 3.5.1 วิธีการทดสอบการทำงานของเครื่อง

(1) เตรียมเครื่องมือและวัสดุุดิบในการทดสอบ มีดังนี้

1. เครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด

2. นาฬิกาจับเวลา
3. ภาชนะรองรับวัตถุดิบ
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก

### (2) วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ

ผลกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 – 16 มิลลิเมตร จำนวน 50 ผล โดยเป็นผลสีแดง 40 ผล และผลสีเขียว 10 ผล

### (3) ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการทดสอบความสามารถของการคัดแยกสีผลกาแฟสดที่ความเร็ว 7 ระดับ คือ 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 rpm โดยการทดสอบเริ่มจากปรับค่าความเร็วของวงล้อและเทผลกาแฟที่ถึงป้อนวัตถุดิบ ตรวจสอบความถูกต้องของการคัดแยกโดยนับการคัดแยกผลสีแดงในถังสีแดงและผลสีเขียวในถังสีเขียว ว่าเป็นการคัดแยกถูกต้อง และนับผลสีแดงในถังสีเขียว ผลสีเขียวในถังสีแดง และผลกาแฟที่ติดขัด เป็นการคัดแยกที่ไม่ถูกต้อง ทำการทดสอบซ้ำ 10 รอบและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องหรือประสิทธิภาพในการคัดแยกมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ดังสมการ (1) และความสามารถในการคัดแยกมีหน่วยเป็น  $\text{kg hr}^{-1}$  ดังสมการ (2) ทำการทดสอบซ้ำอีกครั้งด้วยการปรับค่าความเร็วของวงล้อเป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 rpm ตามลำดับ

## 3.5.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4 ผลทดลองเพื่อหาค่าความถูกต้องในการคัดแยกสี

ซ้ำที่	จำนวนผลกาแฟสดที่ใส่ (ผล)	จำนวนผลกาแฟสดที่คัดสีถูกต้อง (ผล)		จำนวนผลกาแฟสดที่คัดสีไม่ถูกต้อง (ผล)		ความถูกต้อง (%)	เวลาที่ใช้ (นาที)
		สีแดง	ไม่ใช่สีแดง	สีแดง	ไม่ใช่สีแดง		
1							
2							
3							
ค่าเฉลี่ย							

ตารางที่ 5 ผลทดลองสมรรถนะของเครื่องคัดแยกผลกาแฟสด

ความเร็วรอบ (rpm)	Sorting capacity (kghr <sup>-1</sup> )
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

### 3.6 สรุปผลการทดสอบ

การสรุปและประเมินผลโดยจะนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และสรุปผลซึ่งจะทำการสรุปผลนำเสนอไว้ในบทที่ 4 และ 5

### 3.7 นำเสนอผลงาน

การนำเสนอผลงานรูปเล่มจะประกอบด้วยบทนำ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การออกแบบและการสร้าง ผลการทดสอบ สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

#### 4.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

- 4.1.1 เพื่อทดสอบหาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตัดแยกสีของเครื่อง
- 4.1.2 เพื่อทดสอบหาความถูกต้องในการตัดแยกสีของเครื่องมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
- 4.1.3 เพื่อทดสอบหาความสามารถในการทำงานของเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด

#### 4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 4.2.1 เครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด
- 4.2.2 นาฬิกาจับเวลา
- 4.2.3 ภาชนะรองรับวัตถุดิบ
- 4.2.4 ผลกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 – 16 มิลลิเมตร จำนวน 50 ผล โดยเป็นสีแดง 40 ผล และสีเขียว 10 ผล
- 4.2.5 อินเวอร์เตอร์
- 4.2.6 แบตเตอรี่แห้ง 12 v

#### 4.3 วิธีการทดสอบ

- 4.3.1 หาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด  
นำอินเวอร์เตอร์มาปรับความเร็วรอบมอเตอร์ โดยความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบคือ 4, 5, 6, 7, 8, 9, และ 10 รอบต่อนาที

#### 4.3.2 หาความถูกต้องในการคัดแยกสีของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด

- (1) ชั่งน้ำหนักผลกาแฟ 50 ผล ก่อนนำไปทดสอบเครื่อง
- (2) เทผลกาแฟสด 50 ผล โดยเป็นสีแดง 40 ผล และเป็นสีเขียว 10 ผล ลงในถังป้อน
- (3) ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการทำงาน
- (4) จับเวลาการทำงาน
- (5) บันทึกผลการทดสอบลงในตารางที่ 6
- (6) ทำซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้ง
- (7) นำค่าที่ได้มาหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง} = \frac{\text{จำนวนผลที่คัดแยกสีได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนผลทั้งหมดที่นำไปคัดแยก}} \times 100 \quad (4.1)$$

#### 4.3.3 หาความสามารถในการคัดแยกของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด

นำน้ำหนักของผลกาแฟ (kg) ที่ชั่งก่อนนำไปทดสอบหารด้วยระยะเวลาในการคัดแยก (hr) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{ความสามารถในการคัดแยกของเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด} = \frac{\text{น้ำหนักของผลกาแฟสด}}{\text{ระยะเวลาการคัดแยก}} \quad (4.2)$$

#### 4.4 ผลการทดสอบ

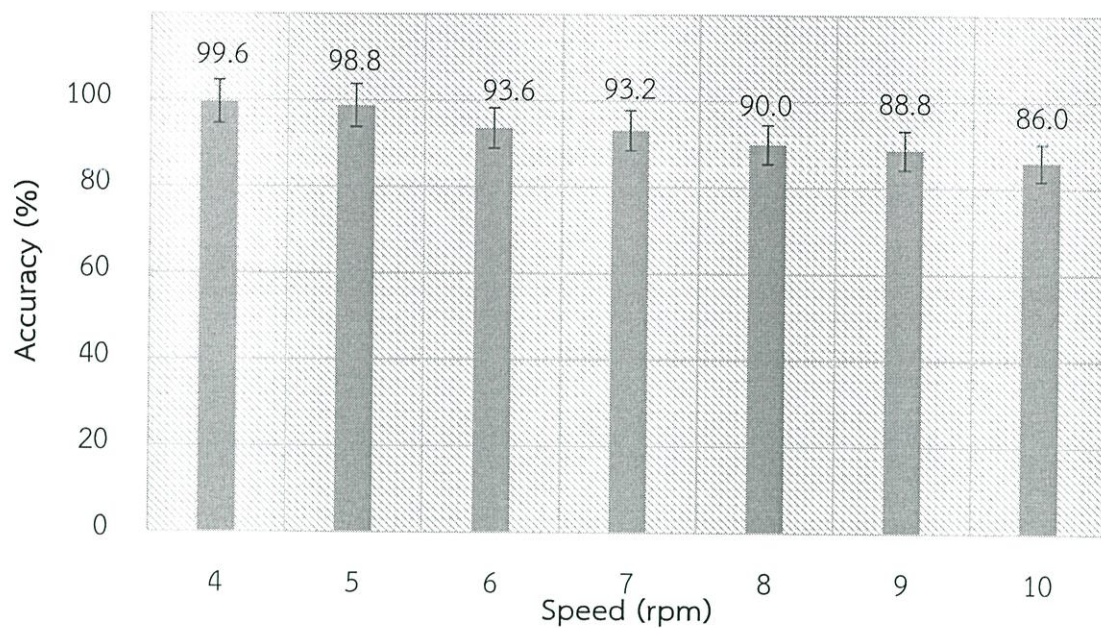
จากข้อ 4.3.1 และ ข้อ 4.3.2 มีผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 6 ค่าผลการทดสอบความถูกต้องในการตัดแยกสีผลกาแฟสด

ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนผลกาแฟสด (ผล)		ความถูกต้องในการตัดแยกสี (%)	เฉลี่ย (%)
	ตัดถูกต้อง	ตัดไม่ถูกต้อง (เซ็นเซอร์อ่านผิด)		
4	50	0	100	99.6
	49	1	98	
	50	0	100	
	50	0	100	
	50	0	100	
5	50	0	100	98.8
	48	2	96	
	50	0	100	
	49	1	98	
	50	0	100	
6	46	4	92	93.6
	48	2	96	
	47	3	94	
	48	2	96	
	45	5	90	
7	48	2	96	93.2
	46	4	92	
	47	3	94	
	46	4	92	
	46	4	92	

ตารางที่ 6 (ต่อ) ค่าผลการทดสอบความถูกต้องในการคัดแยกสีผลกาแฟสด

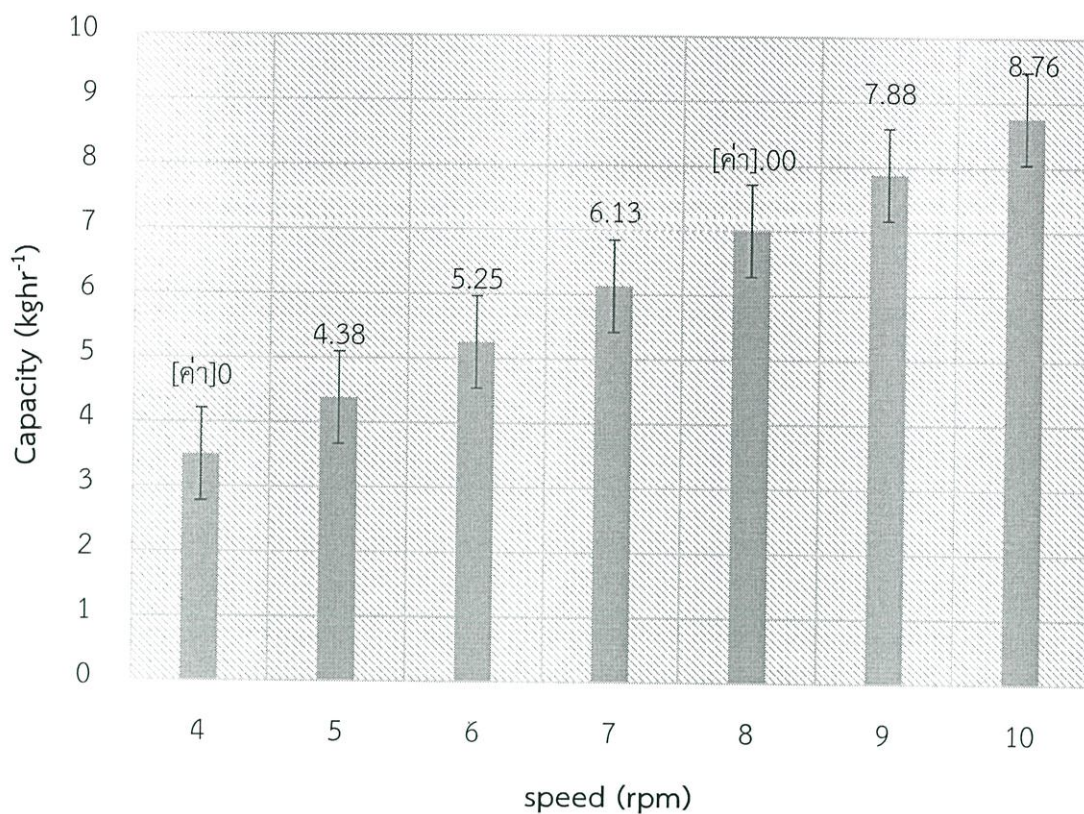
ความเร็วรอบ (rpm)	จำนวนผลกาแฟสด (ผล)		ความถูกต้องในการคัดแยกสี (%)	เฉลี่ย (%)
	คัดถูกต้อง	คัดไม่ถูกต้อง (เซ็นเซอร์อ่านผิด)		
8	45	5	90	90
	45	5	90	
	44	6	88	
	45	5	90	
	46	4	92	
9	43	7	86	88.8
	43	7	86	
	44	6	88	
	46	4	92	
	46	4	92	
10	43	7	86	86
	42	8	84	
	44	6	88	
	43	7	86	
	43	7	86	



รูปที่ 40 แผนภูมิแสดงค่าความถูกต้องในการคัดแยกสีผลกาแฟสด

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าความสามารถในการคัดแยกสีผลกาแฟสด

ความเร็วรอบ (rpm)	Sorting capacity (kghr <sup>-1</sup> )
4	3.50
5	4.38
6	5.25
7	6.13
8	7.00
9	7.88
10	8.76



รูปที่ 41 แผนภูมิแสดงความสามารถในการตัดแยกของเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด

#### 4.5 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด

แบบจำลองเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด	1500	บาท
โครงสร้างเครื่องตัดแยกสี	2000	บาท
ระบบตัดแยกสีและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	3000	บาท
มอเตอร์ส่งกำลัง	1500	บาท
<b>รวมเป็นเงิน</b>	<b>8,000</b>	<b>บาท</b>

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสด มีระบบการคัดแยกสีด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และ RGB Color Sensor สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ออกมาดังนี้คือ

การทำงานของเครื่อง ใช้ความเร็วรอบของวงล้อลำเลียงที่ 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 rpm พบว่า มีความถูกต้องของการคัดแยกเท่ากับ 99.6, 98.8, 93.6, 93.2, 90.0, 88.8 และ 86.0% และความสามารถในการคัดแยกเท่ากับ 3.50, 4.38, 5.25, 6.93, 7.00, 7.98 และ 8.76 kg hr<sup>-1</sup> ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็วรอบของวงล้อลำเลียงเท่ากับ 5 rpm มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความถูกต้องและความสามารถในการคัดแยก 4.38 kg hr<sup>-1</sup>

#### 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

##### 5.2.1 ถังป้อน

5.2.1.1 ควรออกแบบถังป้อนผลกาแฟสดให้สามารถลำเลียงผลกาแฟออกมายังวงล้อได้ทีละ 1 ผล โดยใช้เกลียวลำเลียงในการควบคุมอัตราการป้อนผลกาแฟสด

##### 5.2.2 โครงสร้าง

5.2.2.1 ควรลดโครงสร้างเครื่องให้เล็กลงกว่าเดิมได้ เพื่อลดค่าใช้จ่าย, น้ำหนักและพื้นที่ที่เสียเปล่าภายในเครื่องได้

5.2.2.2 ควรมีการติดตั้งชุดป้องกันหรือแผงกันบริเวณมอเตอร์และชุดเพลาส่งกำลัง เพื่อป้องกันอันตรายขณะเครื่องทำงาน

5.2.2.3 ควรตรวจสอบชุดเพลาส่งกำลังและระบบวงจรทุกครั้งเมื่อมีการเดินเครื่อง

5.2.2.4 ควรพัฒนาจากการใช้แบตเตอรี่เป็นการใช้พลังงานทดแทน เช่น การผลิตไฟฟ้าโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์

### 5.2.3 วงล้อลำเลียง

5.2.3.1 ควรออกแบบวงล้อลำเลียงให้มีขนาดพื้นที่เล็กลง เพื่อป้องกันการเบียดกันของผลกาแฟสด 2 ผลในช่องเดียว

5.2.3.2 ควรพัฒนาให้เครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสดมีความสามารถในการทำงานสูงขึ้นโดยการเพิ่มชุดวงล้อลำเลียงและระบบคัดแยกสี

### 5.2.4 ระบบคัดแยกสี

5.2.4.1 ควรพัฒนาระบบคัดแยกสีโดยการเปลี่ยนเซ็นเซอร์ให้มีความเสถียรและพัฒนาโปรแกรม

5.2.4.2 ควรปรับปรุงการคัดแยกสีโดยใช้การเป่าลมสัมผัสผลกาแฟสดโดยตรง อาจทำให้มีละอองน้ำมันที่อยู่ในระบบนิวแมติกส์มาเจือปนกับผลกาแฟซึ่งทำให้กาแฟมีคุณภาพลดลง โดยเปลี่ยนเป็นการใช้ลูกเป็ยวหรือกระบอกสุบลมแทน

5.2.5 ควรมีการพัฒนาและต่อยอดให้สามารถนำไปใช้งานในพื้นที่จริง

5.2.6 ควรนำเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟสดไปให้เกษตรกรผู้ใช้งานจริงได้ลองใช้งาน

## บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ. เอกสารวิชาการที่ 3/2557, กรุงเทพฯ. แหล่งที่มา: file:///C:/Users/USER/Desktop/การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ.pdf. 17 สิงหาคม 2560.
- กันตภณ พรวิโรตสัง. 2559. เครื่องคัดแยกสีอัตโนมัติบนระบบสายพานลำเลียงควบคุมโดยอาตูดูโน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา. แหล่งที่มา: <http://www.apheit.siam.edu/journal/science-22-1/02kantapon.pdf>, 17 สิงหาคม 2560.
- กิตติ เขียรธาดากุล และประนอม หวังใจชื่น. 2536. เครื่องคัดแยกสีมะเขือเทศ. ปริญญาณิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2536 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร.
- นิวแอนดีไฮต์. 2560. วาล์วควบคุมทิศทาง(DIRECTIONAL CONTROL VALVE). แหล่งที่มา: <http://www.pneu-hyd.co.thdirectional-control-valve.html>. 17 สิงหาคม 2560.
- ปานมนัส สิริสมบุญ. 2556. อุปกรณ์ลำเลียงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก. วิศวกรรมการขนถ่ายวัสดุ (เล่ม 1). คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด.
- สมชาย วัฒนโยธิน และคณะ. 2560. การจัดการองค์ความรู้: เทคโนโลยีกาแฟครบวงจร. สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: file:///C:/Users/USER/Desktop/coffee.pdf, 17 สิงหาคม 2560.
- Brushless-motor. 2556. แนะนำอุปกรณ์: อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง(Optocouplers). แหล่งที่มา: <http://brushlesservocontrolr-ccar.blogspot.com/2013/08/optocouplers.html>. 17 สิงหาคม 2560.
- Dozzdiy. 2557. ฟิลเตอร์สีกับการทำภาพขาวดำ. แหล่งที่มา: <http://www.dozzdiy.com>. 17 สิงหาคม 2560.
- Electronics-pocket-book. 2557. Electronics Pocket Book วงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน Basic Electronic Circuits and Components. แหล่งที่มา: <http://electronicspocketbook.blogspot.com/>. 17 สิงหาคม 2560.
- J. Camacho and R. Lewis 2007. Wear of a chute in a rice sorting machine (online). Available: <http://www.sciencedirect.com/science/>, (2007, September 10).

M. Bayram. 2006. Determination of applicability and effects of color sorting system in bulgur production line (online). Available: file:///C:/Users/USER/Desktop/1-s2.0-S0260877405001482-main.pdf, (2005, April 26).

Satake Australia. 2017. Satake Colour and Optical Sorting Machines. Satake Australia Pty Ltd. In Australia.

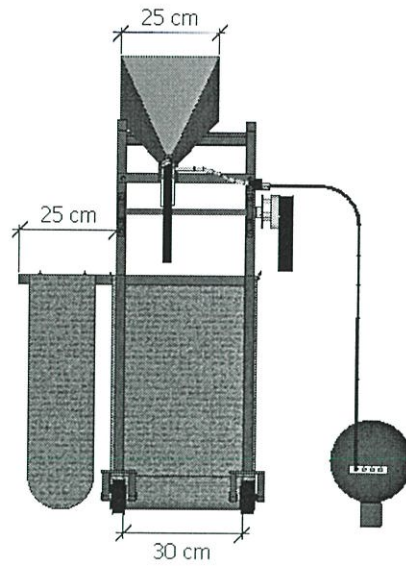
ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

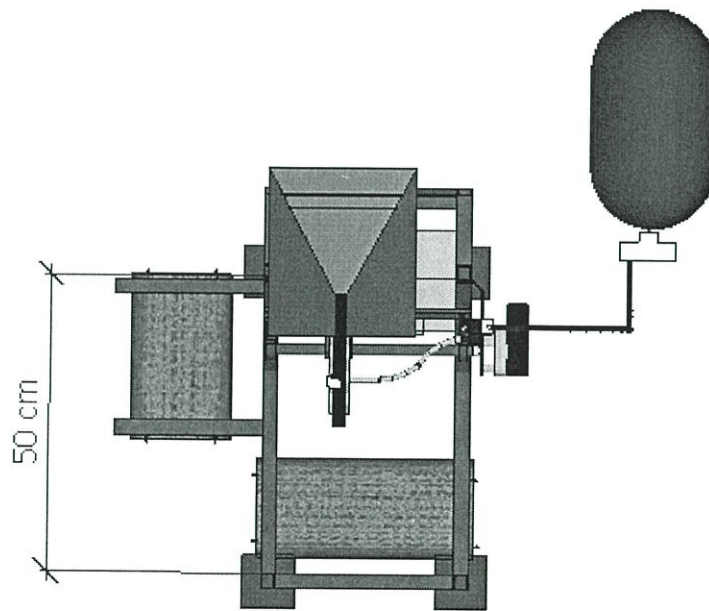
ตารางที่ ก.1 ค่าสี RGB ที่ใช้ในการทดลอง

ซ้ำที่		ค่าสี									
		ผลที่ 1	ผลที่ 2	ผลที่ 3	ผลที่ 4	ผลที่ 5	ผลที่ 6	ผลที่ 7	ผลที่ 8	ผลที่ 9	ผลที่ 10
1	R	950	942	683	763	701	875	526	957	839	1337
	G	707	850	663	333	690	684	470	719	783	1004
	B	882	1013	753	395	796	826	560	820	893	1058
2	R	1003	986	682	759	749	878	529	957	836	1338
	G	783	789	661	330	694	688	482	719	777	1004
	B	696	976	751	392	791	826	577	820	885	1057
3	R	1009	985	680	754	649	881	534	957	835	1337
	G	792	788	659	325	599	691	487	719	775	1007
	B	980	975	749	387	693	828	584	820	882	1059
4	R	1013	985	679	751	648	882	532	961	835	1337
	G	798	787	658	323	596	691	490	720	774	1007
	B	987	974	748	385	689	828	589	822	881	1060
5	R	997	986	679	750	647	882	533	970	835	1337
	G	777	790	657	322	595	691	493	724	774	1007
	B	963	977	747	384	687	828	592	826	881	1060
R เฉลี่ย		994.4	976.8	680.6	755.4	678.8	879.6	530.2	960.4	836	1337.2
G เฉลี่ย		771.4	800.8	659.6	326.6	634.8	689	484.4	720.2	776.6	1005.8
B เฉลี่ย		956.2	983	749.6	388.6	731.2	827.2	580.4	821.6	884.4	1058.8

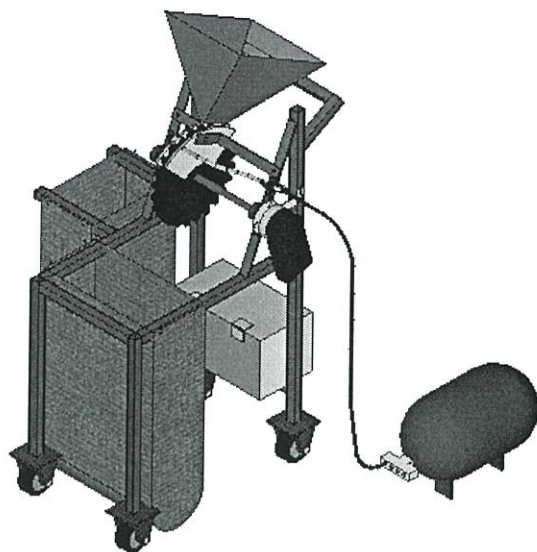
## ภาคผนวก ข



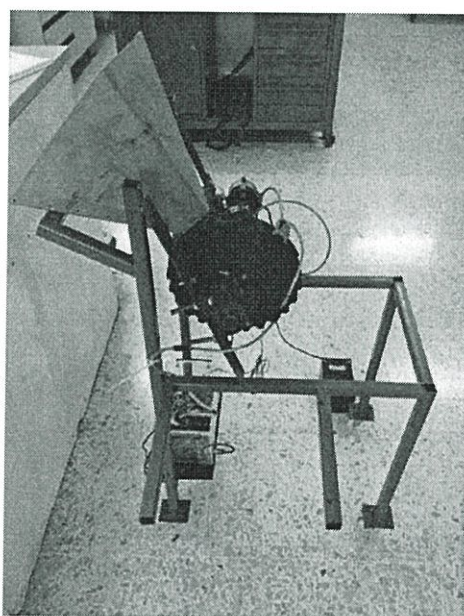
รูปที่ ข.1 แบบด้านหน้าเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด



รูปที่ ข.2 แบบด้านบนเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด



รูปที่ ข.3 แบบสามมิติเครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด



รูปที่ ข.4 เครื่องตัดแยกสีผลกาแฟสด

## ภาคผนวก ค

โค้ดที่ใช้ในการสั่งการ Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_TCS34725.h>

#define redpin 3
#define greenpin 5
#define bluepin 6
#define testled 7

// set to false if using a common cathode LED
#define commonAnode true

// our RGB -> eye-recognized gamma color
byte gammatable[256];

Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_24MS, TCS34725_GAIN_60X);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Color View Test!");
  Serial.println(tcs.begin());
  if (tcs.begin()) {
    Serial.println("Found sensor");
  } else {
    Serial.println("No TCS34725 found ... check your connections");
    while (1); // halt!
  }

  // use these three pins to drive an LED
  pinMode(redpin, OUTPUT);
  pinMode(greenpin, OUTPUT);
```

```

//Serial.print("C:\t"); Serial.print(clear);
//Serial.print("\tR:\t"); Serial.print((int)r);
//Serial.print("\tG:\t"); Serial.print((int)green);
//Serial.print("\tB:\t"); Serial.print((int)blue);
//delay(100);

uint32_t sum = clear;
float r, g, b;
boolean a = false;
r = red; r /= sum;
g = green; g /= sum;
b = blue; b /= sum;
r *= 256; g *= 256; b *= 256;
//if ((green>2000))
// {
//   if ((blue>3200))
//   {
//     if ((r<70))
//     {
//       delay(100);
//       analogWrite(testled, 255);
//     }
//   }
// }
else
{
  analogWrite(testled, 0);
}

Serial.print("\t");

//Serial.println(red);
//Serial.println((int)r, DEC); Serial.print((int)g, DEC); Serial.print((int)b, DEC);
Serial.println();

Serial.print("C:\t"); Serial.print(clear);
Serial.print("\tR:\t"); Serial.print((int)r);
Serial.print("\tG:\t"); Serial.print((int)g);
Serial.print("\tB:\t"); Serial.print((int)b);
delay(100);
//Serial.print((int)r ); Serial.print(" "); Serial.print((int)g);Serial.print(" "); Serial.println((int)b );

analogWrite(redpin, gammatable[(int)r]);
analogWrite(greenpin, gammatable[(int)g]);
analogWrite(bluepin, gammatable[(int)b]);

```